

**Universidad Nacional de Ingeniería**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**



**SISMO AREQUIPA 16.02.79**

**INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES LOCALES**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**PABLO FERNANDO ORIHUELA ASTUPINARO**

**Lima . Perú . 1981**

## A G R A D E C I M I E N T O

Al profesor Asesor Ing. Julio Kuroiwa H. por sus valiosas enseñanzas, así como al Dr. Leonidas Ocola A. del Instituto Geofísico del Perú.

A las numerosas personas e Instituciones que han colaborado en las investigaciones, en especial al Secigra Vivienda y a la Dirección General de Vivienda y Construcción ORDEARE QUIPA, al Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de Ingeniería, al Ministerio de Transportes y Comunicaciones-Oficina Regional de Arequipa y a la Compañía Constructora "Alva Centurion Contratistas".

---

## R E S U M E N

Luego de ocurrido el sismo del 16 de Febrero de 1979, se elaboraron los programas de estudio que se llevarían a cabo en toda la zona afectada. Es así como a partir de los siete días de ocurrido dicho sismo y durante todo el mes de Marzo de ese año, se trabajó en la ciudad de Arequipa, con el Instituto Geofísico del Perú y luego durante todo un año (Junio 1979 - Junio 1980), con un grupo de cinco bachilleres por intermedio del Secigra, sector vivienda, en toda la zona afectada.

El enfoque que se le ha dado a ésta tesis, es el estudio de las condiciones locales en la ciudad de Arequipa y la influencia que estas ejercen en los daños ocurridos en las edificaciones de baja altura en caso de sismo.

Esto con la finalidad de analizar las causas principales por las que se producen estos daños y luego obtener conclusiones prácticas a través de zonificaciones y recomendaciones para el mejor comportamiento sísmico de las construcciones típicas de la zona, desarrollando una metodología de investigación simple y coherente con las agudas limitaciones técnicas y económicas de nuestro país.

El programa desarrollado considera las condiciones de sitio que influyen en el movimiento detectado en el lugar de la edificación y las condiciones estructurales que determinan su respuesta sísmica traducida en los daños ocasionados, dentro de las primeras hemos considerado la geología local, el suelo de cimentación y la topografía, y dentro de las segundas la antigüedad y la técnica constructiva.

La región de Arequipa se caracteriza por una abundante actividad sísmica, debido a fuentes como el fallamiento de San Agustín que causan una modificación en la franja de concentración de focos sísmicos, lo que se comprueba con la alta frecuencia de sismos de considerable magnitud a través de los años,

Respecto al último sismo, ocurrido en Febrero de 1979 de magnitud  $MS = 6.9$  y con una intensidad en Arequipa de VI VII M.S.K., podemos decir que si bien no fue un gran terremoto, el impacto causado en las construcciones de sillar que es el tipo de edificación más generalizado, fue muy adecuado para el estudio.

La primera etapa consistió en el trabajo de evaluación y distribución de los daños estructurales, para lo que se usó la escala Oficial M.S.K. realizando un muestreo bastante denso en toda la área urbana, para esto se llenaban una fichas de evaluación tras de hacer una inspección detenida de toda la edificación, llegando a revisar un total de 628 viviendas.

Durante este trabajo se vio la necesidad de cuantificar la graduación de daños que da la escala M.S.K., por lo que se propone una tabla complementaria de graduación en base a aberturas y longitudes de grietas.

También se pudo verificar claramente la eficiencia sísmica de los 3 tipos constructivos que da la escala, para lo que previamente se enmarcaron dentro de estos todos los tipos

existentes, descritos en una tabla de adaptación; es importante notar la tremenda diferencia entre los daños de viviendas con muros de albañilería sin reforzar (Tipo B) y aquellas que poseen sus respectivas vigas y columnas de amarre (Tipo C), es por esto que para profundizar el estudio escogimos la distribución de daños en base a las viviendas tipo B.

En la segunda parte del estudio, a pesar de las tremendas limitaciones económicas para hacer las investigaciones, se realizó el estudio de los efectos de las condiciones locales en los daños ya evaluados, tratando dentro de estas las condiciones estructurales y las condiciones de sitio.

Para el estudio de las condiciones estructurales, hemos tenido en cuenta la antigüedad de las edificaciones y la técnica constructiva.

Las viviendas de sillar poseen una gran gama de Antigüedades, esto conjuntamente con la frecuencia de sismos en Arequipa hizo dificultoso el trabajo de evaluación, debido a que - en muchos casos los daños provenían de la superposición de los efectos de sismos pasados, pero por otra parte para el estudio de las condiciones locales, nos ha ayudado en la verificación - de ciertos comportamientos de las estructuras ante repetidos eventos sísmicos a través de los años.

Hemos notado también que las antigüedades tienen una estrecha relación con las técnicas constructivas, las cuales - han ido evolucionando a través del tiempo, por lo que el mapa de antigüedades que se presenta constituye también una distribución de técnicas constructivas.

Bajo el nombre de Técnica Constructiva estamos tratando lo que corresponde a aspectos de obra, tales como materiales empleados y métodos de aplicación y a aspectos de diseño y

concepto estructural, tales como dimensiones de elementos estructurales, refuerzos empleados y resistencia a los esfuerzos horizontales, donde se ha visto que el sillar como unidad de albañilería con un buen método constructivo puede ser usado con muchas ventajas.

Desde el punto de vista estático, se han agrupado las viviendas de sillar en cuatro, lo que se describe en la tabla de subclasificación de tipos B, en donde se dan valores promedio de dimensiones y de cargas muertas, pudiendo decir en general que - la tendencia con el tiempo ha sido de aligerar las dimensiones - y el peso de las estructuras.

Para caso de sismos que es cuando se generan fuerzas - horizontales, hemos hecho el análisis de densidad de muros, para lo cual se trabajó en la descripción estructural y arquitectónica de 50 viviendas de sillar con diferentes grados de daño previamente escogidas del trabajo de evaluación, con esto pudimos - verificar mediante unos gráficos que ha mayor densidad de muros el comportamiento estructural dinámico es más eficiente lo que se traduce en una reducción de daños.

Para el estudio de las condiciones de sitio hemos tenido en cuenta la topografía, la geología local y el suelo de - cimentación.

Respecto al factor topográfico, hemos podido detectar claramente su influencia en zonas bastante localizadas donde existen problemas de excesiva pendiente o cercanías a barrancos lo que origina una inestabilidad de taludes comprometiendo las áreas de construcción cercanas al borde.

En lo que corresponde a la geología local podemos decir que debido a la conformación violenta durante el terciario

y cuaternario, el área urbana presenta depósitos de suelos de diferente composición y estado, por lo que lo hemos agrupado en suelos de rocas igneas, suelos volcánicos y suelos clásticos, - estos últimos sirviendo de base a la mayor parte del casco urbano.

Una consigna fijada desde el inicio del programa fue estudiar con mucho interés la influencia local del suelo, ya que en los últimos años se ha demostrado que es uno de los factores más importantes en el comportamiento sísmico de las estructuras, es por ello que dentro de nuestro programa lo hemos considerado como tal y le hemos dedicado el mayor interés.

Para realizar los trabajos de mecánica de suelos, nos agenciamos de un pequeño equipo de campo, parte del cual lo tuvimos que fabricar por no poder adquirirlos mediante compra o préstamo, como por ejemplo los conos de arena y el equipo de proctor.

Una vez completado el equipo y confeccionadas las fichas para recoger la información necesaria, elaboramos un programa de trabajo que comprendía exploración de campo e investigación de laboratorio. El trabajo de campo consistió en obtener información adecuada de las condiciones estratigráficas, escogándose el método de exploración mediante excavaciones a "cielo abierto" en los que se efectuaba la toma de densidades naturales con el fin de obtener parámetros de densidad relativa.

Debido a la importancia de conocer este estado de compacidad relativa de los suelos friccionantes, para lo cual no pudimos realizar pruebas de Penetración Standar por ser muy costosas, y contando con los datos de densidades naturales, investigamos en el laboratorio respecto a la mejor obtención de las densidades máximas y mínimas.

Para la obtención de la densidad máxima se propone un método de vibración, para el cual se da las normas y el tipo de suelos al que se debe aplicar por ser más eficiente que otros métodos practicados, para esto se diseñó un dispositivo simple acoplado al vibrador de mallas,

Así también, para las densidades mínimas se recomienda el uso de un pequeño tripode y un embudo para aplicar el método del chorro de arena.

En base a la información obtenida de las excavaciones, se da una propuesta de zonificación de suelo en las áreas estudiadas, determinando en cada una de ellas su densidad relativa promedio, su capacidad portante y el tipo de suelo según el R.N. C., lo que nos permite conjuntamente con la zonificación de daños detectar la influencia suelo estructura, existen zonas donde ésta influencia es muy marcada, se han visto casos de viviendas muy antiguas y con sistemas constructivos elementales que presentan daños muy ligeros, cimentados en suelos de afloramientos rocosos o con compacidades muy altas, en contraposición con viviendas de antigüedades mucho menores y mejores sistema constructivo con buena densidad de muros, presentando daños muy severos y cimentadas sobre suelos de compacidades medianas o sueltas.

También se han observado zonas con potentes rellenos artificiales que han originado severos daños a sus viviendas, o zonas cercanas a barrancos o torrentes con problemas de estabilidad de taludes, originando asentamientos diferenciales en las estructuras.

Por último, con todo lo estudiado se hace una interpretación de las causas de los daños y se destaca la importancia de realizar estudios de sitio antes de construir las estructuras.



Y como un comentario adicional nos ponemos de parte - de la idea de la utilización de los recursos disponibles de cada región del país como una solución al abaratamiento de las viviendas, por esto pensamos que Arequipa poseedora de enormes canteras de sillar debe promover a este material como unidad de albañilería debido a las bondades que este presenta si se le trabaja con un buen método constructivo.

## TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I	:	INTRODUCCION.....	1
CAPITULO II	:	GENERALIDADES	
2.1		UBICACION GEOGRAFICA Y ACCESO.....	4
2.2		TOPOGRAFIA Y DRENAJE.....	5
2.3		CLIMA Y VEGETACION.....	6
2.4		POBLACION.....	6
2.5		ZONIFICACION URBANA.....	8
2.6		CONCLUSIONES.....	9
CAPITULO III	:	ASPECTOS SISMOLOGICOS	
3.1		CARACTERISTICAS SISMICAS DE LA REGION.....	10
3.2		MOVIMIENTOS SISMICOS NOTABLES EN AREQUIPA.....	12
3.3		EL SISMO DEL 16 DE FEBRERO DE 1979.....	13
3.3.1		PARAMETROS DE EPICENTRO.....	13
3.3.2		REPLICAS.....	14
3.3.3		INTENSIDADES.....	15
3.4		CONCLUSIONES.....	15
CAPITULO IV	:	ESTUDIO DE LOS DAÑOS ESTRUCTURALES	
4.1		EVALUACION DE DAÑOS OCASIONADOS POR EL SISMO DEL 16.02.79.....	17
4.1.1		CLASIFICACION DE LOS DAÑOS.....	18
4.1.2		TIPOS DE EDIFICACIONES CONSTRUIDAS EN LA CIUDAD DE AREQUIPA.....	19
4.2		FRECUENCIA DE DAÑOS Y FALLAS TIPICAS EN LAS VI- VIENDAS.....	23
4.3		DISTRIBUCION Y ZONIFICACION DE DAÑOS.....	26
4.4		CONCLUSIONES.....	27

CAPITULO V		: INFLUENCIA DE LA CONDICION ESTRUCTURAL Y DE LA SITUACION TOPOGRAFICA DE LAS EDIFICACIONES EN LOS DAÑOS	
5.1	INFLUENCIA DE LA ANTIGUEDAD DE LAS EDIFICACIONES.....		28
5.2	INFLUENCIA DE LA TECNICA CONSTRUCTIVA.....		30
5.2.1	CRITICA DE LOS METODOS CONSTRUCTIVOS.....		30
5.2.1.1	VIVIENDAS TIPO A.....		30
5.2.1.2	VIVIENDAS TIPO B.....		31
5.2.1.3	VIVIENDAS TIPO C.....		32
5.2.2	ANALISIS DE LA DENSIDAD DE MUROS.....		33
5.2.3	INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS EN LOS DAÑOS.....		36
5.3	INFLUENCIA DE LA SITUACION TOPOGRAFICA DE LAS EDIFICACIONES.....		37
5.4	CONCLUSIONES.....		38
CAPITULO VI		: GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA	
6.1	GEOLOGIA DE AREQUIPA Y ALREDEDORES.....		41
6.2	GEOMORFOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO.....		44
6.3	CONCLUSIONES.....		47
CAPITULO VII		: INFLUENCIA DE LA CONDICION LOCAL DEL SUELO	
7.1	ORIGEN GEOLOGICO DE LOS SUELOS DEL AREA URBANA..		48
7.1.1	SUELOS CONSTITUIDOS POR ROCAS IGNEAS.....		48
7.1.2	SUELOS VOLCANICOS.....		50
7.1.3	SUELOS CLASTICOS.....		52
7.2	ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS EN LAS AREAS ESCOGIDAS.....		53
7.2.1	OBJETIVO.....		53
7.2.2	AREAS DE ESTUDIO.....		53
7.2.3	EXPLORACION DE CAMPO.....		54
7.2.4	INVESTIGACION DE LABORATORIO.....		55

7.2.4.1	DENSIDAD MAXIMA.....	55
7.2.4.1.1	FRECUENCIA DE VIBRACION.....	56
7.2.4.1.2	TIEMPO OPTIMO DE VIBRACION.....	57
7.2.4.1.3	CRITERIO PARA LA APLICACION DE LOS METODOS DE IMPACTO O VIBRACION.....	58
7.2.4.2	DENSIDAD MINIMA.....	58
7.2.5	ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL SUELO DE CIMENTA- CION.....	59
7.3	ZONIFICACION DE SUELOS.....	62
7.3.1	AREA DEL CERCADO CENTRAL.....	63
7.3.2	AREA DE ALTO SELVA ALEGRE.....	68
7.3.3	AREA DE MARIANO MELGAR.....	69
7.3.4	AREA DEL CERCADO SUR.....	70
7.3.5	AREA DE MIRAFLORES.....	72
7.4	CONCLUSIONES.....	72
CAPITULO VIII : INTERPRETACION DE LAS CAUSAS DE LOS DAÑOS ES- TRUCTURALES		
8.1	INTERPRETACION POR ZONAS.....	75
8.1.1	ZONAS CON COLAPSO PARCIAL.....	75
8.1.2	ZONAS CON DAÑOS SEVEROS.....	76
8.1.3	ZONAS CON DAÑOS MODERADOS.....	77
8.1.4	ZONAS CON DAÑOS LEVES O SIN DAÑO.....	78
8.2	CONCLUSIONES.....	79
CAPITULO IX : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		
		82

## C A P I T U L O I

### INTRODUCCION

Los terremotos ocurridos en el país, en esta última - década nos han dejado muchas enseñanzas en el amplio campo de la ingeniería antisísmica, haciéndonos ver en muchos casos errores y efectos que se repiten de sismo en sismo, es así como luego del terremoto de Arequipa del 16 de Febrero de 1979, se preparó un programa de estudio en toda el área afectada para un grupo de bachilleres que recién egresábamos, dirigidos por el - Ing. Julio Kuroiwa, Profesor de la Universidad Nacional de Ingeniería por intermedio del Secigra, Sector Vivienda, programa que en el caso de Arequipa se complementó en la primera etapa - con lo realizado con el Instituto Geofísico del Perú bajo la dirección del Dr. Leonidas Ocola,

El presente estudio trata sobre la influencia que las condiciones locales ejercen sobre los daños en las edificaciones de baja altura en caso de sismo y tiene como área de trabajo la ciudad de Arequipa.

La motivación de este tema fue alentada por la eviden

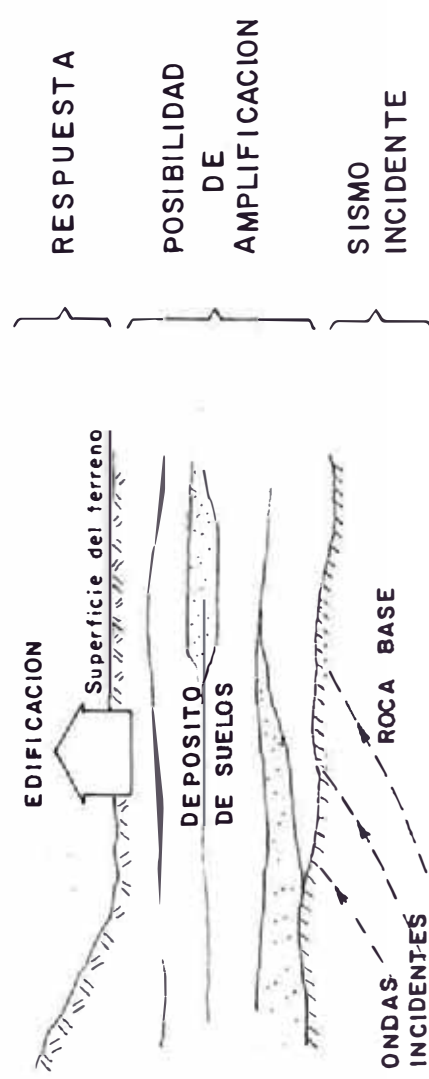
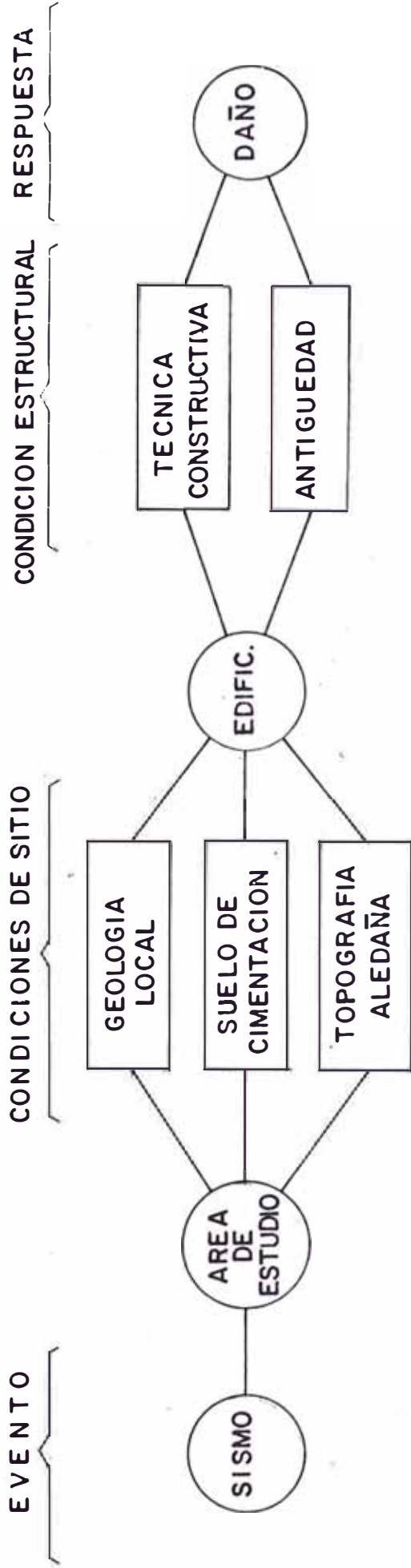
te necesidad que tiene dicha ciudad de contar con estudios de Micronización Sísmica, debido a su rápido crecimiento y desarrollo, sumado a la abundante actividad sísmica característica de la región; es por esto que este último sismo de 1979 nos brindaba la magnífica oportunidad de realizar estudios de esa naturaleza, pues la intensidad causó un impacto muy adecuado para estos fines en las construcciones de sillar, que es el tipo de edificación más generalizado en la ciudad, esto con las variadas condiciones de sitio y sobre todo de suelo, que presenta el área urbana, nos proporcionaba un panorama de estudio muy interesante y - más aún si nuestra investigación iba a ser dirigida a construcciones pequeñas cuya baja inversión económica no permite hacer mayores estudios que si son frecuentes en las estructuras "Importantes" debido a que sus inversiones pueden cubrir fácilmente el costo de dichos estudios.

Es así como presentamos el desarrollo de una metodología de investigación simple y adaptada a las agudas limitaciones técnicas y económicas de nuestro país, problema que se acentúa - aún más cuando se trabaja fuera de la capital, esta investigación se desarrolló aprovechando el "laboratorio natural" que nos proporcionaba la ocasión, contando con el secigra para poder residir durante un año en las zonas de estudio y teniendo los ímpetus de trabajar y de aplicar los conocimientos aprendidos en la Universidad, ideal que caracteriza a todo joven ingeniero y que supera a las dificultades tan comunes en nuestro medio cuando se pide - apoyo para investigación, por esto con mucho optimismo conseguimos lampas y picos para abrir o profundizar nuestras excavaciones; de igual forma cuando no pudimos conseguir el equipo de campo conseguimos los planos de los aparatos principales y los fabricamos adaptando algunos materiales disponibles en lugares donde no dan facturas, o también cuando no obtuvimos movilidad para trasladarnos al campo con todo nuestro equipo lo hacíamos generalmente a pie, ya que en los microbuses casi siempre repletos no -

cabíamos con tanto cargamento y de igual manera en el trabajo - de laboratorio también adaptamos algunos dispositivos para obtener resultados más eficientes.

El trabajo se llevó a cabo en dos etapas, la primera que se realizó inmediatamente después del sismo y que consistió en el estudio de los daños estructurales y la segunda que tomó la mayor parte del tiempo y que consideró la influencia - de las condiciones estructurales y las condiciones de sitio (Figura 1), todos los capítulos, así como todos los gráficos y conclusiones son producto de la elaboración de resultados verídicos obtenidos en el campo.

# ESTUDIO DE LAS CONDICIONES LOCALES



( FIGURA 1 )



## C A P I T U L O    I I

### GENERALIDADES

#### 2.1 UBICACION GEOGRAFICA Y ACCESO

La ciudad de Arequipa esta situada al occidente de la región sur del Perú, comprendida en las coordenadas geográficas: Latitud Sur 16°28' y Longitud Oeste 71°27'.

Es la capital del Departamento de Arequipa y la segunda ciudad en importancia del Perú, ubicada entre los 2,200 y 2,600 m.s.n.m. Se le conoce también como la "Ciudad Blanca" por sus construcciones de sillar, lava volcánica petrificada, materia prima de la arquitectura arequipeña y se encuentra rodeada por los volcanes Misti (5,821 mts.), Chachani (6,075 mts.) y Pichu Pichu (5,425 mts.).

La ciudad de Arequipa es accesible por una amplia red de transporte terrestre y aéreo con el resto del territorio.

La carretera Panamericana Sur cruza las pampas de Victor y la Joya e ingresa a la ciudad por la carretera "Variante de Uchumayo" (Distancia Arequipa-Lima, 1,020 Kms.).

Además existen otras vías asfaltadas o afirmadas que parten de la ciudad de Arequipa conectándola con diferentes centros poblados, balnearios y canteras como las que conducen a Vitor, Yura, Chivay, Taya, etc.

Así mismo por ferrocarril y carretera, esta enlazada con el Puerto de Matarani y las ciudades de Juliaca, Puno y Cuzco.

Las compañías de aviación comercial cubren vuelos diarios con Lima (1 hora de vuelo), Cuzco (30 minutos), Juliaca y Tacna (20 minutos).

## 2.2 TOPOGRAFIA Y DRENAJE

El área de la "Penillanura de Arequipa", presenta una superficie suavemente ondulada de forma triangular, comprendida entre las localidades de Arequipa, Yura y la confluencia de los ríos Chili y Yura; rodeada de cerros altos que forman parte de la cordillera de Laderas y estribaciones del Antiplano, presentando un sistema de quebradas paralelas, con caudales temporales y secciones transversales en "V", drenando hacia los ríos ya mencionados.

Las altitudes de esta superficie ascienden desde los 1,800 mts. hasta los 2,600 m.s.n.m., con una pendiente de 5%, - inclinada hacia el Sur-Oeste.

El drenaje del área, se realiza por los ríos Sihuas, Vitor, Yura, Chili y por numerosas quebradas y riachuelos.

El río Chili se origina en la confluencia de los ríos Sunbay y Blanco e ingresa al área por el borde oriental, a través de un cañón profundo de flancos escarpados, entre el volcán Chachani y el Misti.

El Valle del Chili empieza a ensancharse a la altura de Arequipa Alta, continuando con un perfil asimétrico hasta las inmediaciones del Cañón Huayco. De aquí se encañona nuevamente bordeando o cortando las rocas intrusivas de la Cordillera de Laderas, hasta su confluencia con el río Yura.

El importante hacer mención de los numerosos riachuelos secos denominados "Torrenteras" que cruzan el área urbana por diferentes lugares y que en tiempos de lluvia se cargan repentinamente siendo un peligro para los pobladores.

### 2.3 CLIMA Y VEGETACION

El promedio anual de precipitación en la ciudad de Arequipa es del orden de 62 mm., siendo mínima en los meses de Abril a Agosto y máximo en los meses de Enero a Marzo.

El promedio mensual de temperatura arroja un máximo medio de 24°C para los meses de Diciembre a Marzo y un mínimo medio de 3,7°C para los meses de Junio y Julio.

La agricultura se halla restringida, principalmente, en los valles de caudal permanente y a sus inmediaciones cultivándose de preferencia gran variedad de productos de pan llevar, alfalfares y árboles frutales, las partes más altas y escarpadas están desprovistas de vegetación, salvo algunas cactáceas y otras hierbas de desarrollo temporal.

### 2.4 POBLACION

La ciudad de Arequipa, según el censo de 1972, contaba con una población de 313,853 habitantes, constituyendo un 60% de la población de todo el Departamento, siendo el centro poblado más importante y además el centro vital de la economía del sur del país.

Políticamente la provincia está dividida en 26 distritos, nueve de ellos, las más importantes conforman lo que estamos denominando "Arequipa Metropolitana", cuya población está distribuída como sigue y donde podemos observar que el 97% de la población esta concentrada en el área urbana con un promedio de 5 personas/vivienda.

POBLACION DE AREQUIPA METROPOLITANA				
DISTRITO	POBLACION			Nº DE VIVIENDAS
	URBANA	RURAL	TOTAL	
AREQUIPA	96,118	796	96,914	19,243
PAUCARPATA	57,496	429	57,925	11,780
MIRAFLORES	44,133	-	44,133	9,395
MARIANO MELGAR	32,328	-	32,328	6,231
CERRO COLORADO	25,391	351	25,742	5,315
SOCABAYA	22,226	3,217	25,443	4,849
CAYMA	12,378	137	12,515	2,593
YANAHUARA	11,224	311	11,535	2,270
SACHACA	3,809	3,509	7,318	1,465
<u>T O T A L:</u>	305,103	8,750	313,853	63,141

De los 105,000 habitantes en edad económicamente activa, un buen porcentaje de los que cuentan con un trabajo, están concentrados en el Parque Industrial de la ciudad, que cuenta con 331 Empresas que ocupan a 11,000 trabajadores; destacando en la producción de envasados lácteos, cuero, tejidos, chocolates, caramelos, gaseosas, cerveza y útiles de escritorio.

## 2.5 ZONIFICACION URBANA

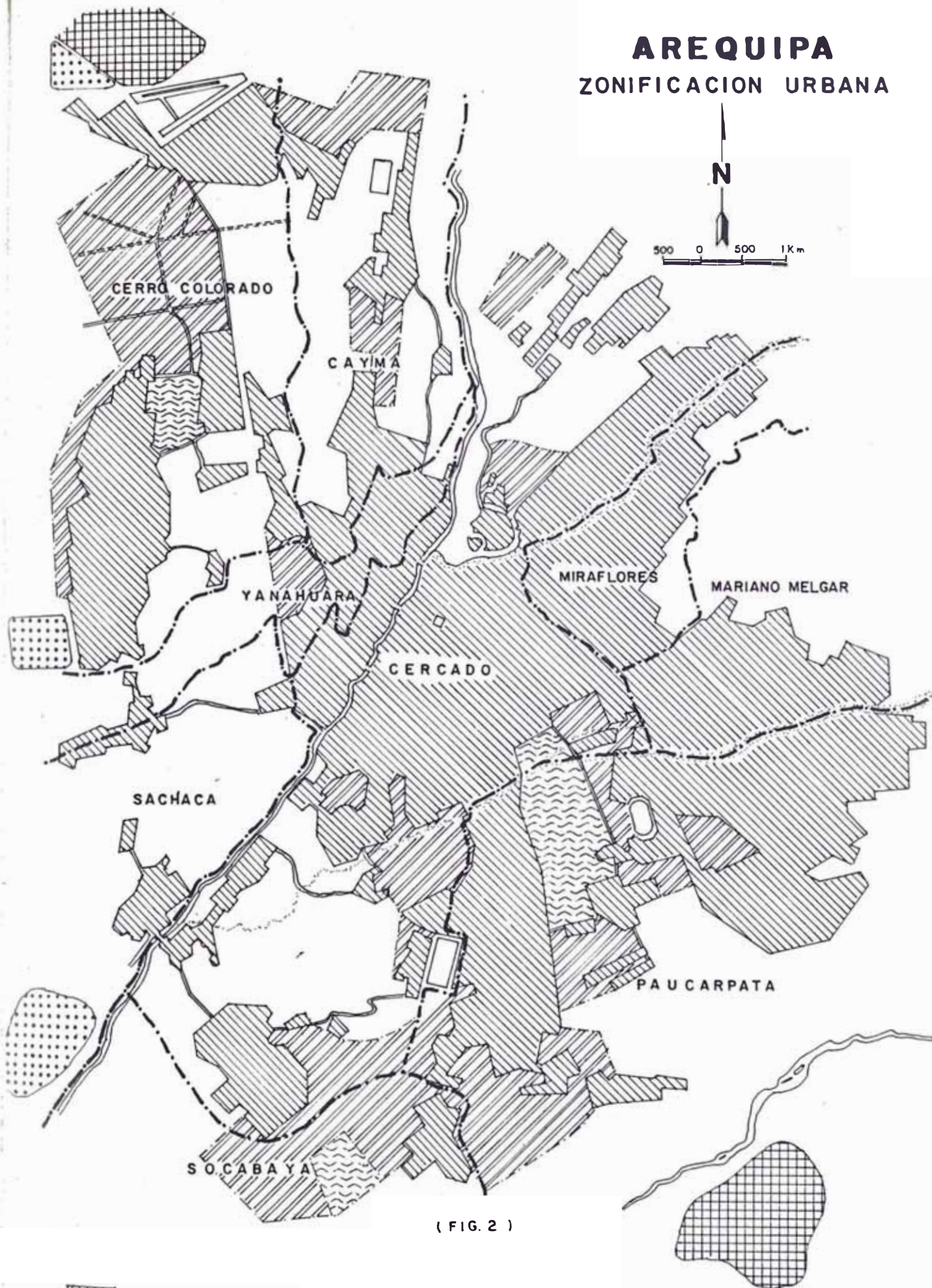
La Dirección General de Planeamiento Urbano del Ministerio de Vivienda de Arequipa, ha desarrollado un Plan Director, el cual considera el actual casco urbano, las nuevas áreas por habilitar, las áreas reservadas para habilitación residencial posterior a 1985, las áreas de posible localización Industrial y futuro parque zonal y metropolitano, tal como se aprecia en la Figura 2.

Esta zonificación urbana tentativa, posteriormente tendrá que complementarse con otros estudios de zonificación, desde otros puntos de vista, como el de riesgo y microzonificación sísmica, para luego llegar a una propuesta definitiva y mucho más fundamentada.

Desarrollar un programa de este tipo es algo bastante complejo y se requiere de un equipo multidisciplinario; muchos de estos programas plantean nuevas áreas de expansión urbana donde se podrían construir viviendas económicas o bloques de viviendas en altura, o plantean nuevas áreas industriales con miras a incrementar la producción y el movimiento comercial de la ciudad, otras veces se tiene que buscar solución a sectores tugurizados, que son tan propios cuando las ciudades comienzan su ritmo expansivo en área y población, o tantas otras soluciones, recomendaciones o prevenciones ante los frecuentes fenómenos urbanos que ya están originados u otros que por falta de planificación se puede producir. Todos estos estudios deben considerar las debidas precauciones ante los posibles movimientos sísmicos.

# AREQUIPA

## ZONIFICACION URBANA



( FIG. 2 )

 CASCO URBANO ACTUAL

 RESERVA PARA HABILITACION POSTERIOR A 1,985.

 NUEVAS AREAS POR HABILITAR

 AREA DE POSIBLE LOCALIZACION INDUSTRIAL

 PARQUE ZONAL Y METROPOLITANO

## 2.6 CONCLUSIONES

La ciudad de Arequipa esta considerada como la segunda ciudad en importancia del Perú, siendo además el centro vital de la economía del sur del país, según el censo de 1972, el área urbana cuenta con una población de más de 300 mil habitantes y una cantidad de viviendas que supera a las 60 mil, también cuenta con numerosas empresas industriales que destacan en su producción, la mayoría de las cuales están concentradas en el Parque Industrial de la ciudad en un número de 331 empresas que ocupan a 11,000 trabajadores.

Todos estos datos nos hacen ver que Arequipa constituye ya una ciudad metropolitana en franco proceso de expansión y desarrollo, lo que obliga a pensar en la necesidad urgente de contar con estudios de planificación urbana, dando énfasis a los programas de microzonificación sísmica, ya que como se verá más adelante se trata de una región de alta actividad sísmica.

## C A P I T U L O    I I I

### ASPECTOS SISMOLOGICOS

#### 3.1 CARACTERISTICAS SISMICAS DE LA REGION

Arequipa como bien sabemos está localizada en la Región Sur-Oeste del Perú, comprendida entre los paralelos 15°S y 18°S y los meridianos 70°O y 75°O, para interpretar las características sísmicas bajo el concepto de dinámica terrestre, el Instituto Geofísico del Perú ha analizado detalles de la tectónica regional basada en 9 estaciones de una red regional para 1,266 eventos sísmicos en un solo año (1965) los resultados obtenidos son muy eficaces y se puede resumir así:

El relieve, la litología, la estructura superficial y sub-superficial, y principalmente la distribución espacial de la actividad sísmica, son compatibles con la fenomenología a esperar en un proceso de subducción correspondiente a un borde continental en el que no existe arco de islas ni océano intermedio.



La placa o manto oceánico, que a partir de la fosa se sumerge por debajo del continente, describiendo un ángulo de  $26^\circ$ , tendría un espesor constante de 50 Km. hasta una profundidad próxima a los 150 Km. que correspondería al grosor de la li tósfera continental. En su parte final, la placa oceánica descendente se dobla y desaparece a través de un corto trayecto aproximadamente horizontal.

La placa oceánica descendente está dibujada por actividad sísmica q' se produce dentro de todo su espesor, con notoria concentración de esta actividad hacia su límite superior. - No existe actividad sísmica en esta placa antes de la fosa, ni entre ella y los sismos superficiales en la litósfera continental.

Una notable concentración de la actividad sísmica casi en la parte central de la porción descendente de la placa oceánica, confirma la distribución de epicentros e hipocentros que, junto con el mecanismo focal de los dos últimos terremotos de Arequipa (1958 y 1960), sirvió para proponer la existencia - del sistema de fallamiento de San Agustín, al que se interpreta como una profunda estructura de fracturamiento con desplazamiento de los bloques en el sentido del rumbo.

La abundante actividad sísmica existente en la región, se debe a las siguientes fuentes, en orden de importancia, teniendo en cuenta el número y magnitud de los eventos: 1) La profunda estructura a la que se ha denominado Sistema de Fallamiento San Agustín, la misma que en realidad presenta una perturbación o modificación de la franja de concentración de focos sísmicos descendente de la costa hacia el interior del continente, 2) Toda la extensión de la placa oceánica infradeslizante, lo que constituye característica común para casi todo el borde con tinental Suramericano, y 3) Estructuras menores existentes en o cerca a la superficie, principalmente fracturas, que se distri-

buyen de Oeste a Este, desde delante de la fosa hasta detrás de la Cadena Andina, con mayor profusión en la costa y vertiente - pacífica.

### 3.2 MOVIMIENTOS SISMICOS NOTABLES EN AREQUIPA

TABLA 1

FECHA	HORA (TMG)HMS	LAT.,S	LONG.,O	PROF., KM.	MAG.	INTENS.	LUGAR
13/08/1863	21:45:00	-----	-----	--	-----	XI	Arequipa
10/05/1877	01:28:00	-----	-----	--	-----	-----	Arequipa
28/07/1913	06:40:00	17.0	73.0	--	7.0	-----	Chala
16/08/1913	22:14:24	17.0	74.0	--	7.75	X	Caravelí
11/10/1922	14:49:50	16.0	72.5	50	7.4	-----	Caravelí
11/05/1941	05:09:00	13.8	74.2	--	-----	-----	Caravelí
04/03/1951	11:17:13	16.0	74.5	32	6.75	VI	Caravelí
20/02/1952	09:10:03	16.0	74.0	64	-----	-----	La Unión- Arequipa
21/07/1955	11:45:49	15.4	74.0	60	6.75	VI	Caravelí
15/01/1958	19:14:31	16.5	72.0	60	7.3	VII	Arequipa
19/07/1959	15:06:11	15.0	70.5	200	7.0	V-VII	Arequipa
13/01/1960	15:40:24	16.0	73.0	63	7.5	IX	Arequipa
09/03/1960	23:54:26	16.0	72.0	--	6.0	-----	Arequipa
26/01/1964	09:09:34	16.3	71.7	116	6.3	V-VI	Arequipa
30/07/1965	05:45:16	18.0	70.6	73	5.5	IV-VI	Arequipa
24/09/1971	04:32:55	16.4	73.7	37	5.6	IV	Arequipa
16/02/1979	10:08:53	16.4	72.7	53	6.9	VI-VII	Arequipa

### 3.3 EL SISMO DEL 16 DE FEBRERO DE 1979

A las 05:08:53 (tiempo local) del 16 de Febrero de 1980, ocurrió un sismo en el Sur del País, dejando un saldo de destrucción equivalente a unos mil a mil quinientos millones de soles (cinco millones de dólares) y un número de víctimas de 18 personas.

La magnitud del sismo fue estimado en M.B. = 6.2, M.S. = 6.9 valor proporcionado por la agencia NEIS (USA), lo que comparativamente no corresponde a un gran terremoto, pero que tuvo gran impacto en zonas donde el material de construcción más generalizado era el adobe y el sillar.

Cabe destacar que se obtuvo un registro de aceleración en el observatorio de Characato, de la Universidad de San Agustín, con un valor máximo de 0.39 g a 120 Km. de distancia epicentral.

#### 3.3.1 PARAMETROS DEL EPICENTRO

Hora de Origen	:	05:08:53.4 (T.L.)
Latitud	:	16.390° S
Longitud	:	72.658° W
Profundidad de Foco	:	53 Kmts.

Los parámetros definitivos del epicentro han sido determinados utilizando las lecturas de 328 estaciones sismológicas de todo el mundo, diferenciando en algo de la determinación inicial (15.93° S - 72.45° W) realizada por el United States Geological Survey, utilizando sólo 49 estaciones.

Esta posición está localizado a 25 Km. al norte de Camaná, teniendo una duración de movimiento significativo de 45 segundos y una intensidad máxima de VII en la ciudad de Camaná.

### 3.3.2 REPLICAS

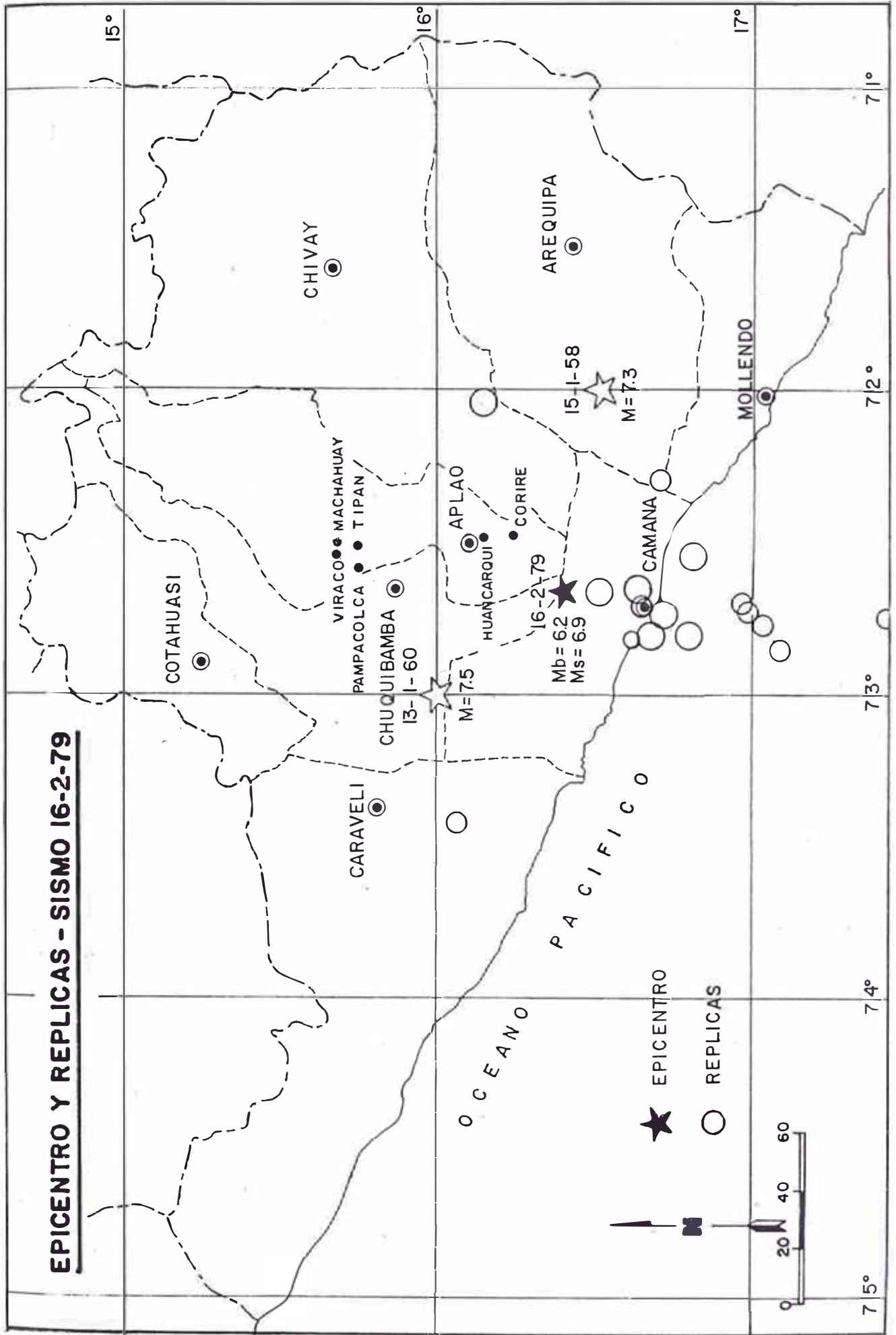
Como es normal en sismos de mediana o gran magnitud, estos van seguidos de una cantidad de sismos posteriores, réplicas cuyo número y magnitud va decreciendo con el tiempo, en nuestro caso, el número de réplicas registradas con magnitud superior a 4.5, ascienden a 16 hasta el mes de Mayo de 1979. - (TABLA 1A).

En la figura 3 se indica la distribución geográfica de las principales réplicas registradas que se adjuntan en el siguiente cuadro:

TABLA 1A

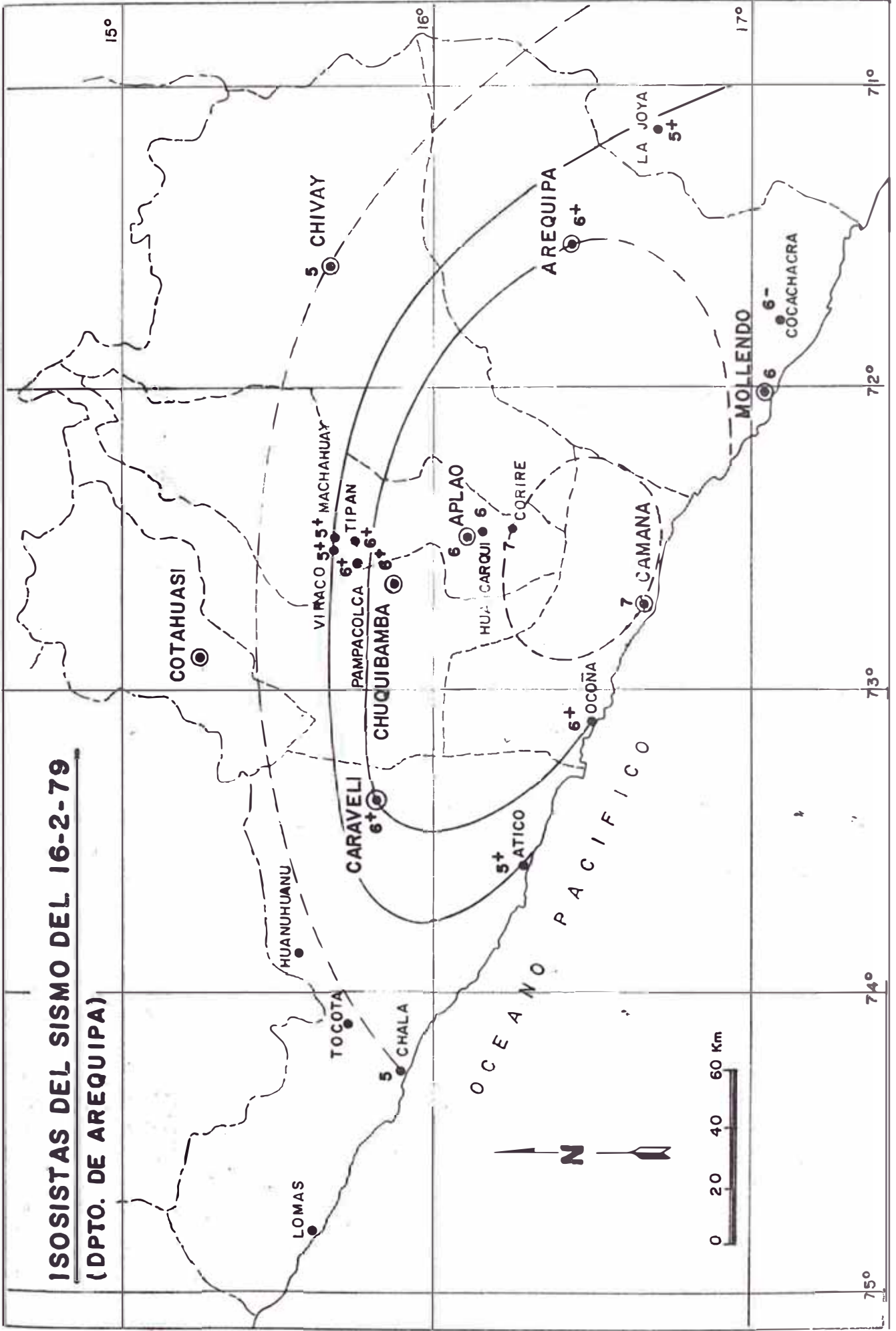
REPLICAS DEL SISMO DE 1979 (AGENCIA NEIS-USA)									
MES	DIA	HORA	ORIGEN	COORDENADAS		PROF.	MAGNITUD	Nº	ESTA-
		TIEMPO	LOCAL	LAT.SUR	LONG.W	KM.	MB	MS	CIONES
02	16	050853.4		16.390	72.658	53	6.2	6.9	328
02	16	061311.9		17.078	72.850	85	4.6	-	
02	16	171820.0		16.500	72.656	52	5.4	5.2	171
02	16	234003.9		16.872	72.793	62	-	-	8
02	16	235842.9		17.557	72.746	33	-	-	6
02	17	104115.6		16.627	72.656	79	5.1	-	6.8
02	18	165315.9		16.962	62.708	73	4.7	-	9
02	20	090243.1		16.698	72.740	56	5.2	-	61
02	22	115527.6		17.018	72.758	76	4.8*	-	6
02	24	071614.9		16.629	72.814	70	4.8	-	25
03	07	012111.1		16.184	72.039	126	5.1	-	40
03	11	094029.5		16.735	72.807	62	5.0	-	11
03	20	215234.3		16.795	72.545	58	5.1	-	9
04	25	155518.4		16.057	73.418	69	4.8	-	11
05	02	121524.7		16.639	72.694	66	4.5	-	10
05	27	050705.0		16.964	72.705	65	4.6	-	24

# EPICENTRO Y REPLICAS - SISMO 16-2-79



( FIGURA 3

**ISISISTAS DEL SISMO DEL 16-2-79  
(DPTO. DE AREQUIPA)**



### 3.3.3 INTENSIDADES

En la Figura 4, se presentan las curvas isosistas en base a la interpretación de los daños en diferentes poblados - del Departamento de Arequipa, donde se puede observar que las intensidades máximas correspondientes a 7 (en la escala MSK) - se produjeron a lo largo del Valle de Majes, afectando principalmente a los poblados de Camaná y Corire, ambos con nivel freático bastante superficial y a 7-6 en Chuquibamba donde el factor topográfico ha ejercido una gran influencia. En esta línea de máxima intensidad, sin embargo, se encuentran los poblados de Aplao y Huancarqui, presentando una intensidad de 6, lo cual nos hace pensar en una atenuación debido al buen suelo de cimentación.

Es notorio también ver el rápido decremento de intensidades hacia los poblados de Viraco y Machahuay.

### 3.4 CONCLUSIONES

Podemos pues concluir en este capítulo que la actividad sísmica de la región de Arequipa se enmarca dentro del proceso de subducción correspondiente a todo el borde continental, actividad que se acentúa en la parte central descendente de la placa oceánica debido a la profunda estructura a la que se ha denominado Sistema de Fallamiento San Agustín la que presenta una perturbación o modificación de la franja de concentración de focos sísmicos descendente de la costa hacia el interior del continente y también a estructuras menores existentes, principalmente fracturas que se distribuyen de Oeste a Este, esto se comprueba con la gran frecuencia de sismos de considerable intensidad que ya se han mostrado.

En lo que respecta a este último sismo, como ya dijimos, su magnitud ( $M_S = 6.9$ ) no corresponde a un gran terremoto, sin embargo tuvo gran impacto en las viviendas de muros sin confinamiento y es importante reparar en el valor máximo de aceleración registrado en el observatorio de Characato de 0,39 g. a 120 Km. de distancia epicentral, esto nos lleva a pensar que el basamento, medio de transmisión de las ondas sísmicas, presenta un excelente estado de densidad dureza y consolidación o que las características geométricas y orientación de la superficie de fallas, así como la dirección y sentido de propagación de la ruptura han influido en la característica de la señal captada - en dicha estación.



## C A P I T U L O   I V

### ESTUDIO DE LOS DAÑOS ESTRUCTURALES

#### 4.1 EVALUACION DE DAÑOS OCASIONADOS POR EL SISMO DEL 16,02,79

Para hacer esta evaluación de daños se preparó unas - fichas de evaluación de daños (Fichas 1A y 1B, Anexo), para ser interpretadas según la escala sísmica MSK que se adjunta.

Con este material, se distribuyeron los grupos de trabajo por muestreo, según cuadrículas de 400 mts. de lado de los cuales se ubicaban en el mapa por letras y números, de esta manera se llegó a evaluar alrededor de 650 edificaciones distribuidas en toda el área urbana, siendo estas preferentemente de 1 planta para tener condiciones análogas de estructuración y evitar la amplificación estructural.

Los formularios fueron llenados con bastante exigencia y se vió la gran necesidad de uniformizar la percepción visual de los daños, pues como eran varios grupos, la apreciación subjetiva entre fisuras, grietas pequeñas, grietas grandes, etc.

daban origen a pequeños desacuerdos lógicos, por lo que se trabajó una tabla de daños en base a las aberturas y longitudes de las fallas respaldada por la gran cantidad de viviendas evaluadas y que es como se describe, luego de la transcripción de la clasificación de daños de la escala M.S.K.

#### 4.1.1 CLASIFICACION DE LOS DAÑOS

##### ESCALA SISMICA MSK - CLASIFICACION DE DAÑOS

###### CLASE 1 - Daños Leves

Fisuras en los revestimientos, caídas de pequeños trozos de revoque,

###### CLASE 2 - Daños Moderados

Grietas pequeñas en los muros, caída de grandes trozos de revoque, caída de parapetos, grietas en las chimeneas e incluso derrumbamientos parciales de las mismas.

###### CLASE 3 - Daños Severos

Grietas grandes y profundas en los muros, caída de chimeneas.

###### CLASE 4 - Destrucción Parcial

Brechas y grietas en los muros, derrumbamiento parcial de los edificios, agrietamiento entre distintas partes o secciones de las construcciones, desmoronamiento (colapso) de paredes interiores y muros.

###### CLASE 5 - Colapso

Destrucción total de las construcciones o de sus partes vitales.

Como se puede ver, el ajustarse a esta clasificación es bastante

subjetivo, por lo que proponemos la siguiente adaptación empírica con la cual hemos trabajado y que es una adaptación con rangos de aberturas y longitudes de las fallas y siendo válidas para el tipo de vivienda con que se trabajó, ya que para otros tipos de viviendas construídas con otros materiales y otras técnicas constructivas, los patrones de agrietamiento pueden ser diferentes.

TABLA CUANTIFICADA DE LA CLASIFICACION DE DAÑOS M,S,K. PARA LAS VIVIENDAS AREQUIPEÑAS.

TABLA 2 (IGP)

DAÑO CLASE	ESPESOR	LONGITUD	AFINAMIENTO		
			-	=	+
1	<2mm	<0.5m	<1/2mm	1/2-1mm	1-2mm
2	2mm-5mm	>1.5m	2-3mm	3-4mm	4-5mm
3	1/2cm-2cm	>1.5m	0.5-1cm	1-1.5cm	1.5-2cm
4 *	>2cm	>1.5m	---	---	---
* Derrumbe parcial					

Esta tabla se fue modelando junto con la evaluación de las fichas de efectos en construcciones (Ficha 1A), donde se anotaban longitudes, espesores y formas, y se complementaban al reverso con gráficos bastante detallados de plantas, cortes y ubicaciones de fallas, orientando la vivienda con un eje perpendicular a la fachada respecto al norte, para esto se contaba con el auxilio de wincha y brújula

#### 4.1.2 TIPOS DE EDIFICACIONES CONSTRUIDAS EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

En la ciudad de Arequipa, existen varios tipos de construcciones edificadas con diferentes materiales y diferentes técnicas constructivas, esta variación se debió principalmente a

a los tiempos en que fueron construídas, obedeciendo a las "modas" constructivas.

Para poder estudiar los tipos constructivos desde el punto de vista sísmico, hemos tomado como referencia la clasificación que da la escala oficial M.S.K. y que se transcribe a continuación.

#### CLASIFICACION USADA EN LA ESCALA M.S.K.

##### TIPO DE ESTRUCTURAS (Excluye estructuras sismo-resistentes).

TIPO A : Bloques de piedra sin trabar, piedras y barro como mortero, adobes. Canto rodado y barro (formando hormigones), tapial ordinario, piedra asentada con trabas, ladrillo de teja asentado con mortero pobre.

TIPO B Construcciones de ladrillo sin reforzar y de bloques prefabricados, construcciones de sillar o piedra natural cortada. Estructura de pilares de concreto o acero.

TIPO C Edificios reforzados con elementos dúctiles, de acero o de concreto armado. Estructuras de concreto y acero de nudos soldados o empernados sin consideración especial de simetría. Casas de madera bien diseñadas.

Estos tres grandes grupos fueron preparados por S.V. Medvedev (Moscú), W. Sponheuer (Jenia) y V. Karnik (Praga), en zonificación sísmica de USRR, 1968.

Luego de hacer la visita y descripción detallada de aproximadamente 650 viviendas distribuídas en todo el área urbana de la ciudad y haber evaluado su comportamiento sísmico, podemos enmarcar los diferentes tipos constructivos existentes dentro de los tres grupos, de la manera siguiente:

## ADAPTACION DE LA ESCALA M.S.K., AL TIPO DE EDIFICACIONES AREQUIPEÑAS.

### TIPO DE ESTRUCTURAS (Excluye estructuras sismo-resistentes)

TIPO A Pircado de bloques de sillar o piedra, sin mortero o con mortero muy pobre de cal - arena o cemento - arena, cimentación muy superficial de piedra con mortero de barro, cal-arena, o cemento-arena, ningún tipo de refuerzo estructural; dinteles de un trabado especial - de sillares, en arco o rectos; cubiertas con techos de calamina y vigas de madera sobrepuestas directamente sobre el muro (Foto 3).

Estas edificaciones existen en los alrededores de la ciudad, como en Sachaca, Pachacutec, partes altas de Miraflores y Mariano Melgar, etc.

Viviendas de adobe o tapial que corresponden a este tipo casi no hay, este tipo abunda en las serranías.

TIPO B Construcciones de sillar, con buen mortero de cal-arena o cemento-arena, muros con espesores que varían de 40 cm. a 80 cm. ó 1 mts., bien trabados y unidad de albañilería homogénea, cimientos con profundidades de 0.80 a 2 mts. compuesto por piedras con mortero de cal-arena o cemento-arena; ningún tipo de refuerzo de concreto armado en los muros y dinteles del mismo sillar.

La cobertura de estos varía según el tiempo, los más antiguos son techos en bóvedas que son apoyados en muros anchos de 0.60 ó 1.00 mts., estas bóvedas son semi circulares, con bloques de sillar cortados en forma de "cuñas", que al ser colocados en disposición radial, trabajan conjuntamente con su simple mortero a la compresión, en su parte exterior son protegidas con una -

capa de mortero pobre para protegerlas de la lluvia y rematan en los apoyos en forma de aleros, para facilitar el desagüe.

Posteriormente a las bóvedas parece ser que se puso en boga, las cubiertas planas hechas con bloques de sillar trabados entre rieles de acero que funcionaban como viguetas de un aligerado, arriostrados transversalmente por largos pernos, estos exteriormente son protegidos al igual que las bóvedas, por una capa de 8 a 15 cm. de mortero pobre (Foto 1).

Por último con la introducción del concreto armado en la construcción, se dejaron de lado las bóvedas y techos de rieles, para sustituirlos por losas delgadas de concreto armado, de espesores de 8 a 12 cm. ó aligerados, lo que los indujo a bajar los espesores de sus muros a 45 ó 40 cm. y algunos pocos hasta 25 cm., y a reemplazar los dinteles de sillar por dinteles de concreto armado; desechando el uso del mortero cal arena y teniendo más acogida el de cemento arena, pero sin incluir refuerzos estructurales de vigas ni columnas. La losa macisa de concreto armado va apoyada directamente sobre los muros, sin ninguna viga collar o refuerzo adicional.

Este tipo de edificaciones abundan en todo el cercado en el distrito de Yanahuara, Antiquilla, partes bajas de Miraflores y Mariano Melgar.

Viviendas de ladrillo sin refuerzos, que corresponden a esta clasificación casi no existen.

**TIPO C** : Construcciones convencionales de ladrillo, reforzadas con elementos de concreto armado, como vigas y columnas de amarre, buena cimentación y techos de losa aligerada.

Estas viviendas se han construido en estas últimas décadas en las Urbanizaciones nuevas como en casi todo el Distrito de Paucarpata, Cayma, Sectores nuevos de Yanahuara y algunas pequeñas áreas remodeladas del -cercado, pueblos jóvenes ya consolidados como Hunter, etc.

Viviendas de sillar, con buen mortero y reforzadas con vigas y columnas, también corresponden a esta clasificación, pero existen en bajo porcentaje debido a la imposición de ladrillo como "material noble".

#### 4.2 FRECUENCIA DE DAÑOS Y FALLAS TÍPICAS EN LAS VIVIENDAS

Una vez evaluadas las fichas, se hicieron listados de resúmenes donde se ubicaba cada vivienda y se apuntaban los datos de tipo de edificación, antigüedad, clases y grados de daños, calidad de construcción, intensidad de sacudimiento, etc.- (Ver listado 1, Anexo).

Es así como por conteo de los listados, hemos obtenido los gráficos porcentuales que se muestran en las Figuras 5 y 6, donde se puede comprobar claramente, las eficiencias entre los 3 tipos de vivienda.

En las viviendas Tipo "A", predominan los fuertes agrietamientos (43%), siendo muy frecuentes las fallas en las esquinas y las fallas en el mortero.

En las viviendas Tipo "B", predominan los agrietamientos moderados (35%), siendo frecuentes las fallas en las equi--nas, a través del mortero, entre muro y techo, en vanos, en te-

chos y en general en la albañilería, ya sea por corte o tracción diagonal.

En las viviendas Tipo "C", predomina la ausencia de daño o los fisuramientos leves en el revestimiento, alcanzando un 78%. A continuación describiremos los tipos de fallas más frecuentes:

- a) Fallas en las Esquinas.- Generando grandes grietas a lo largo de ambos lados de las esquinas (Foto 3), esto se debe a la falta de columnas de amarre, típico en las viviendas A y B.
- b) Fallas Verticales en el Mortero.- Generando fisuramiento o separación de las unidades albañilería (Foto 2), esto debido a la mala calidad del mortero, a su falta de adherencia y al mal amarre entre dichas unidades (Foto 4), esto ha sido bastante frecuente en el mortero de cal - arena que al vitrificarse con el tiempo pierde su adherencia.
- c) Fallas entre Muro y Techo.- Generando fisuramiento a lo largo de todo este encuentro, muy frecuente en el tipo "B" con techos de loza o aligerados que van apoyados directamente sobre los muros sin ningún anclaje en éstos.
- d) Fallas en los Vanos.- Generando fisuramiento que arrancan de los vértices de las puertas o ventanas, debido a las luces excesivas en dichos vanos ó a la falta de traslapes con venientes en los dinteles.

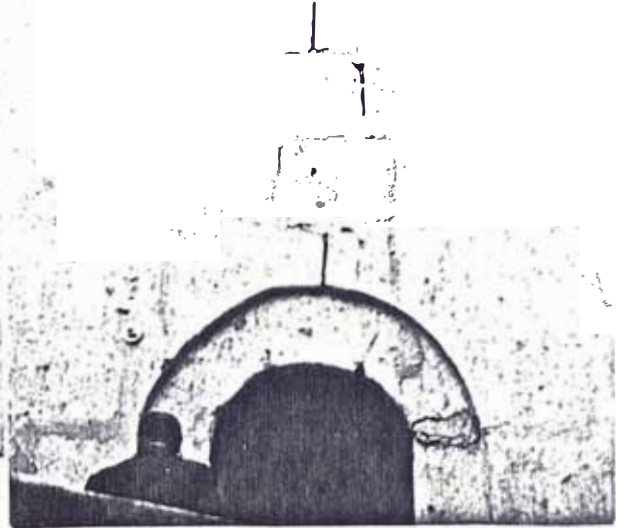
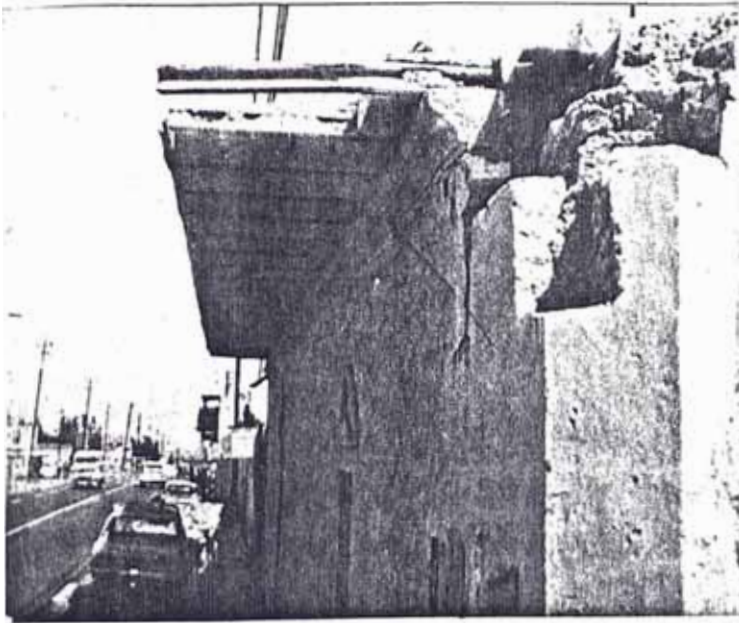


- e) Fallas en Muros por Corte y Tracción Diagonal.- Manifestándose por un desplazamiento horizontal de la parte superior del muro, respecto a la parte inferior, generándose un agrietamiento en diagonal por la junta del mortero, o llegando a atravesar la unidad de albañilería cuando esta y el mortero presentan la misma resistencia al esfuerzo de corte, esto es debido a la acción de la fuerza sísmica horizontal ejercida en el plano de muro.
- f) Fallas en los Techos.- Siendo frecuente sólo en el tipo "B" de techos en bóvedas y de rieles; en la primera genera un agrietamiento a lo largo del eje de simetría, debido a que en algunos instantes la bóveda es sometida a tracción en sentido perpendicular a dicho eje; en los techos de rieles se generan fisuramientos a lo largo del riel, debido a la diferencia de rigidez entre éste y los bloques de sillar, - habiendo casos en que se producen desprendimientos de éstos bloques, por la falta de arriostamiento transversal (foto 1).
- g) Fallas en el Revestimiento.- Siendo sin importancia estructural, pero sirviéndonos para evaluar la severidad del sacudimiento, se traduce con fisuramiento de éste o con caída parcial de trozos pequeños o grandes, muy frecuentes en el tipo "C".
- h) Fallas Locales.- Tales como impacto entre 2 viviendas, agrietamientos por falta de juntas constructivas o por mal funcionamiento de éstas u otras fallas claramente localizadas.

# FALLAS CONSTRUCTIVAS

TECHOS DEMASIADO PESADOS Y RIGIDOS  
A PARTE DE NO LLEVAR VIGA COLLAR.

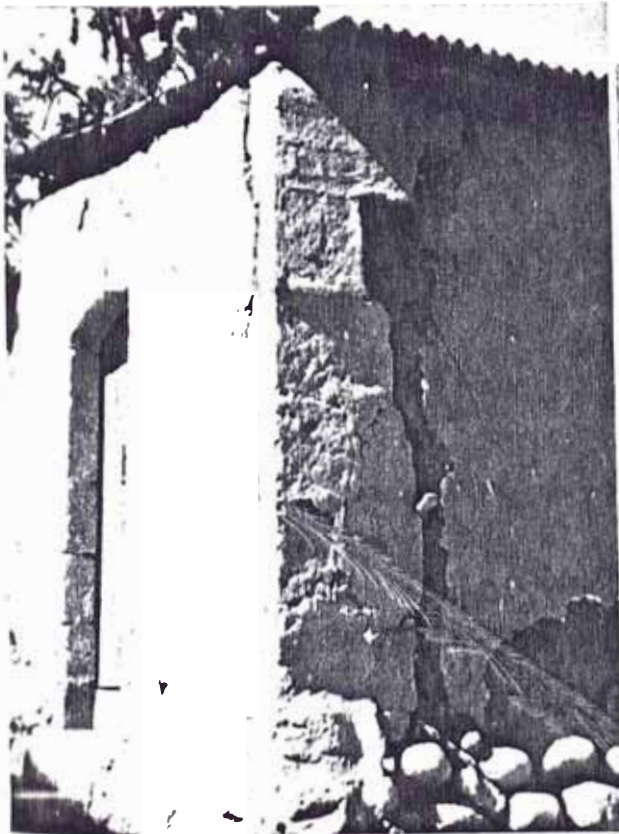
(1)



(2)

FALLA EN ESQUINA, FALTA DE RE  
FUERZO DE COLUMNAS DE AMARRE.

(3)

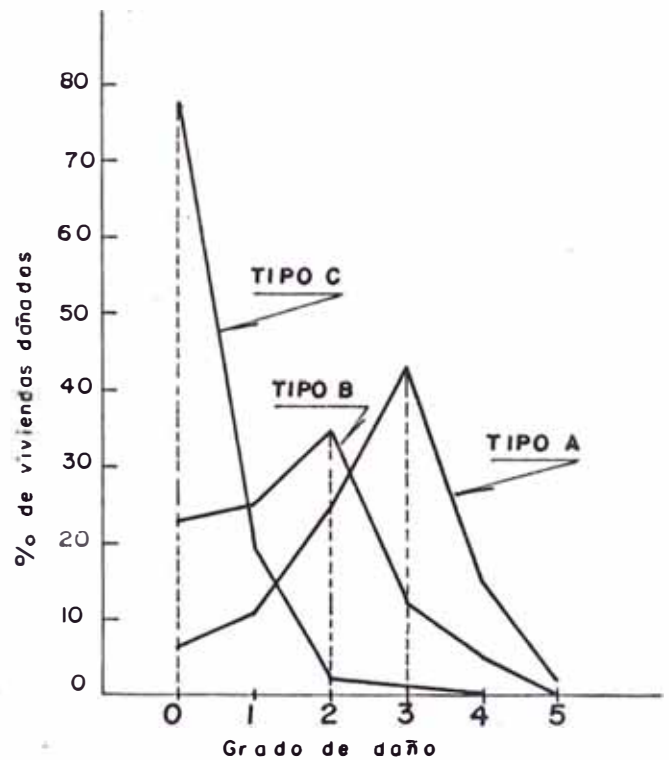
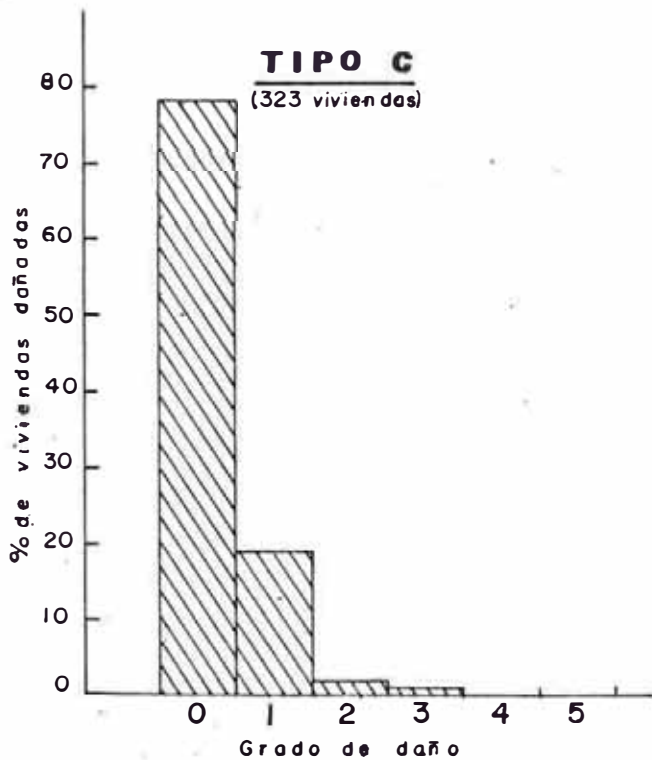
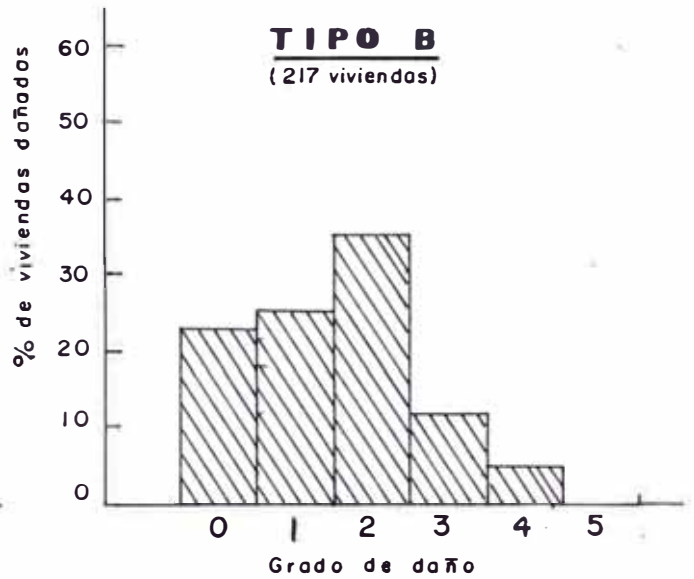
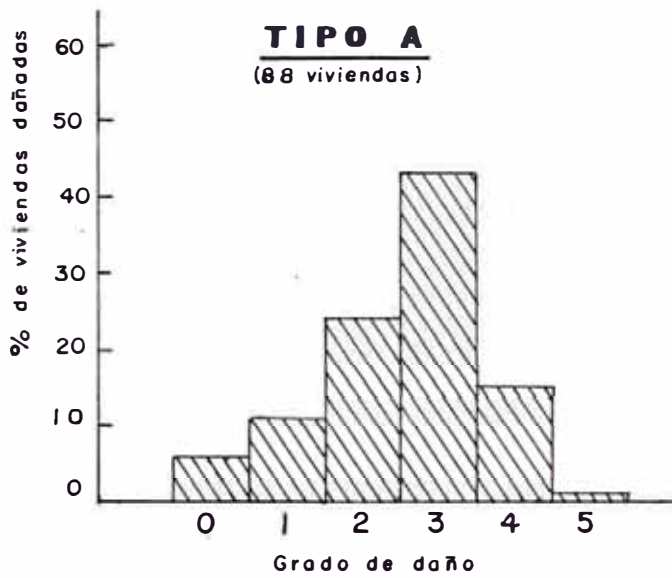


(4)

FALTA DE APAREJO O AMARRE ENTRE LOS  
SILLARES, UNIDADES NO UNIFORMES.

# FRECUENCIA DE DAÑOS EN LAS VIVIENDAS

SISMO 16-2-79



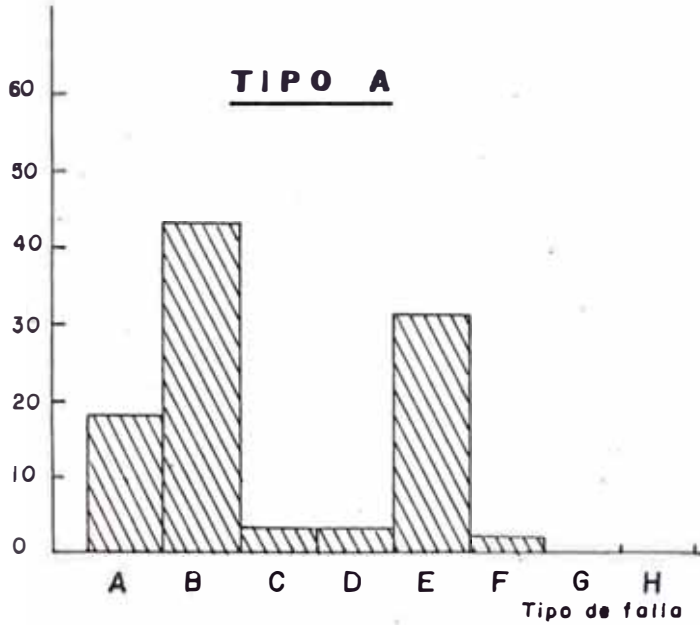
PORCENTAJE DE VIVIENDAS DAÑADAS							
TIPO \ DAÑO	0	1	2	3	4	5	TOTAL
	Sin daños	Fisuras 2 mm.	Grietas 1/2 cm	Grietas 1/2 cm	Derrumbe parcial	Colapso	
A	6	11	24	43	15	1	100
B	23	25	35	12	5	0	100
C	78	19	2	1	0	0	100

( FIGURA 5 )

# FRECUENCIA DE FALLAS EN LAS VIVIENDAS

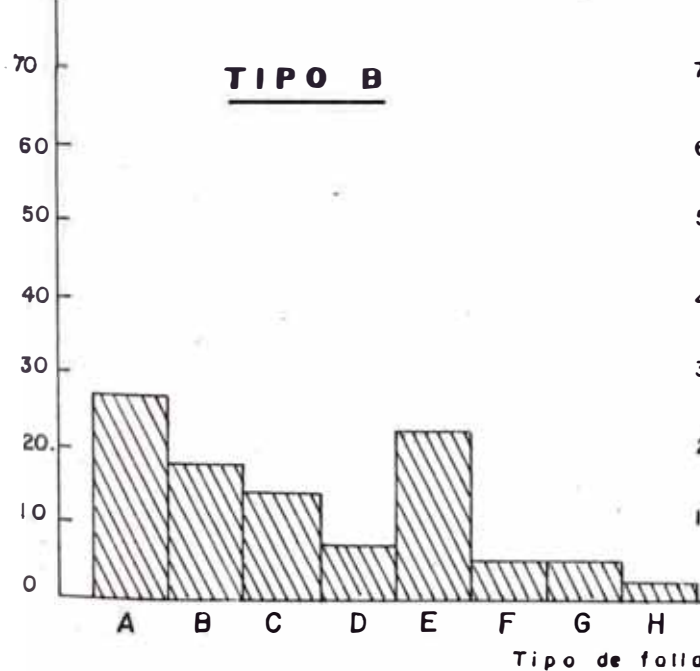
SISMO 16-2-79

% de fallas

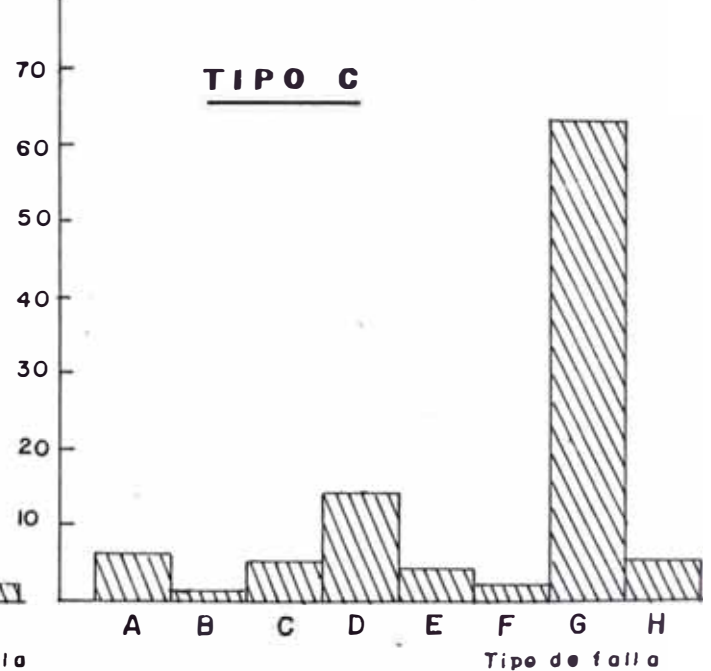


PORCENTAJE DE FALLAS			
TIPO DE FALLA	TIPO DE VIVIENDA		
	A	B	C
A- ESQUINAS	18	27	6
B- MORTERO	43	18	1
C- MURO-TECHO	3	14	5
D- VANOS	3	7	14
E- CORTE y TRACC. DIAG.	31	22	4
F- TECHOS	2	5	2
G- REVESTIMIENTO	0	5	63
H- LOCALES	0	2	5
TOTAL	100	100	100

% de fallas



% de fallas



( FIGURA 6 )

#### 4.3 DISTRIBUCION Y ZONIFICACION DE DAÑOS

Con los listados de resúmenes, se plotearon los mapas de distribución de daños para cada tipo de edificación, de los cuales se muestra el correspondiente a los de Tipo "B", (Ver listado 1 y lámina 1), por haber sido escogidos estos como los más convenientes para hacer el estudio de las influencias locales e interacción suelo-estructura, ya que la intensidad del sismo (VI - VII, escala M.S.K.), les ha originado una adecuada gama de daños y además se encuentran distribuidos en toda el área urbana. (Ver Lámina 1, Anexo).

En la lámina 1, se puede observar que las áreas más dañadas coinciden en el centro de la ciudad, notándose una mayor incidencia en la zona aledaña al mercado de San Camilo entre las calles Perú y Peral, donde los daños que predominaron fueron destructores (de 3 a 4) al igual que en la parte alta del Distrito de Yanahuara y en el barrio de Beaterio.

Con un grado de daño algo menor, pero aún severo (2 a 3) se observa parte del cercado Este prolongándose por la Av. Muñoz Najar y Mariscal Castilla; al igual que la zona aledaña - al río Chili, desde la Calle Villalba y el Puente Grau hacia el Nor-Oeste cubriendo el Distrito de Yanahuara. Estos daños severos también se presentan en la zona aledaña a la torrentera - de San Lázaro a la altura de Chapi-Chico.

Daños moderados (de 1 a 2) se pueden observar en la parte baja del Distrito de Mariano Melgar, parte de Miraflores y Selva Alegre y Zona Este del cercado entre la Universidad y el Estadio Melgar.

Daños leves o viviendas sin daños (de 0 a 1), se presentan en los alrededores de la ciudad como las partes altas de Miraflores y Mariano Melgar, parte alta de Tingo, Villa de Sachaca y los pueblos jóvenes de Independencia, Semi rural Pachacutec, parte alta de Hunter, Simón Bolívar, San Martín y otros.

#### 4.4 CONCLUSIONES

En la primera parte de este capítulo, se vió la necesidad de cuantificar la graduación de daños que da la escala M.S.K., para lo cual se propone una tabla en base a aberturas y longitudes de grietas, de igual manera hacemos una descripción de los tipos constructivos existentes en Arequipa, enmarcándolos dentro de la clasificación de los 3 grupos propuestos por dicha escala.

Respecto a la frecuencia de daños podemos concluir que se ha verificado claramente la eficiencia de los 3 tipos de edificación ante sollicitaciones sísmicas, así podemos ver que tanto el Tipo A como el B, han sentido claramente el sismo reflejándolo en los daños que presentan, así vemos que para el tipo A se detecta un 43% de fuertes agrietamientos (daño 3), un 35% de agrietamientos moderados (daño 2) en el Tipo B, no siendo así para el Tipo C, donde predominan los daños leves (daño 1) y la ausencia de daños en un 78%.

Las fallas que predominan en las viviendas tipo A y B son los agrietamientos en las esquinas debido a la falta de refuerzos, fallas a través de las juntas debido a la pérdida de adherencia entre el mortero-cal arena y el sillar, y fallas en la albañilería debido a corte y tracción diagonal.

Para la evaluación de daños, es muy importante tener en cuenta la superposición de terremotos pasados, por cuanto las reparaciones efectuadas en sismos anteriores han sido en la mayoría de las casas ineficaces o de lo contrario simplemente no se realizó reparación, por esto pensamos que la antigüedad de las viviendas es un factor que requiere de cuidado.

Debido a la gama de daños que presenta el tipo B y al hecho de estar distribuido por toda el área urbana, se le ha cogido para profundizar el estudio, por lo que se tomará la distribución de daños en base a este tipo de viviendas.

## C A P I T U L O V

### INFLUENCIA DE LA CONDICION ESTRUCTURAL Y DE LA SITUACION TOPOGRAFICA DE LAS EDIFICACIONES EN LOS DAÑOS

#### 5.1 INFLUENCIA DE LA ANTIGUEDAD DE LAS EDIFICACIONES

La antigüedad fue un factor que hubo de tenerlo muy en cuenta, para la evaluación e interpretación de los daños de las viviendas, pues al ir encuestando encontramos edades de construcción de 0 a 100 y hasta de 150 años, lo que hizo más difícil el trabajo, pues en lo posible había que preguntar a los moradores si los daños que observaban, habían sido producidos recientemente, si ya existían o si eran agrietamientos que luego de haber sido mal reparadas, nuevamente se habían abierto por el mismo sitio. Lógicamente, el factor antigüedad conjuntamente con la frecuencia de sismos en Arequipa, eleva los inconvenientes que originan la superposición de daños ocurridos por sismos pasados.

Este amplio rango de antigüedades, no se observa en las viviendas tipo C, pues sus construcciones son recientes no habiendo anteriores a los 25 años, tampoco son frecuentes las

viviendas tipo A que "sobreviven" más de 3 ó 4 sismos (60% con daños severos, Fig. 6, foto 3), salvo aquellas cimentadas sobre suelos muy duros (foto 19), no siendo así con las viviendas tipo B, que son materia de nuestro estudio por razones ya expuestas en el capítulo anterior y que poseen la amplitud de edades ya mencionada.

Esta variedad de antigüedades en las viviendas tipo B, dió lugar a una variedad de técnicas constructivas que fueron evolucionando a través de los años, encontrándose una gran relación entre la antigüedad de la construcción y la técnica empleada, tal como se verá más adelante.

Para tener en cuenta el factor antigüedad con más facilidad, damos las siguientes denominaciones:

TABLA 3

Nº AÑOS	DENOMINACION	Nº DE SISMOS SOPORTADOS
0 - 25	RECIENTE	6
25 - 50	MEDIANAMENTE ANTIGUA	6 + 6 = 12
50 -100	ANTIGUA	12 + 3 = 15
100	MUY ANTIGUA	17

En base a estos rangos se elaboró el mapa de antigüedades en viviendas tipo B (Lámina 2), donde se ve que las áreas Muy Antiguas, corresponden a parte del centro de Arequipa, entre la Plaza de Armas y los barrios de Antiquilla y San Lázaro, de igual manera los poblados de Tingo, Villa de Sachaca, Carmen Alto y Cayma. (Ver Lámina 2, Anexo).

Las áreas Antiguas se extienden en el resto del cerro, las de Mediana Antigüedad predominan en las partes bajas de



Miraflores y Mariano Melgar y las recientes en los alrededores de la ciudad y pueblos jóvenes.

Más adelante, al estudiar las técnicas constructivas y la densidad de muros, se ve claramente la influencia de la antigüedad en los daños (figuras 8A, 8B y 24).

## 5.2 INFLUENCIA DE LA TECNICA CONSTRUCTIVA

El método y las normas de construcción que se emplearon en estructurar una edificación, el tipo de materiales que se eligió y la forma en que estos fueron aplicados, constituyen una técnica constructiva y que es el factor que condiciona la respuesta estructural de una edificación sometida a una excitación sísmica.

A continuación haremos una crítica de las técnicas constructivas de cada tipo de vivienda, centrándonos con más detalle en el tipo B; luego un análisis de la densidad de muros, para ver la influencia que ejercen sobre los daños.

### 5.2.1 CRITICA DE LOS METODOS CONSTRUCTIVOS

En el capítulo V, ya hemos hecho la descripción de los tipos de vivienda existentes en Arequipa, ahora haremos una crítica estructural de cada tipo (Ver Tabla 4 y Fig. 7).

#### 5.2.1.1 VIVIENDA TIPO A

Estos tipos de vivienda, responden deficientemente ante la sollicitación de una excitación sísmica, esto debido a que aparte de sus materiales ya descritos, se construyeron con una técnica muy rudimentaria y con la ausencia total de una supervisión o asesoramiento profesional, lo que origina una serie de defectos constructivos, como el mal uso de dinteles, mal aplomo de los muros, falta de aparejo entre las unidades de albañilería

debido a la no modulación de estas (Foto 4), cimentación deficiente en dimensiones y materiales (Foto 3), vigas de techo sin refuerzo en los apoyos, etc, todo esto hace que generalmente estas viviendas precarias y temporales, en caso de sismo, no tengan ninguna resistencia a fuerzas horizontales, por lo que - colapsan fácilmente y aunque gracias a la poca altura y al tipo de cobertura liviana que poseen, disminuye el peligro de los que las habitan, es preocupación que debe estar latente en los organismos responsables.

#### 5.2.1.2 VIVIENDAS TIPO B

Estas viviendas ante las sollicitaciones sísmicas responden en mejor forma que las A, debido al empleo de mejores materiales y mejores técnicas constructivas, impuesta por gente - que tiene mayor conocimiento y experiencia, pudiendo mencionar algunas virtudes y defectos:

CON TECHOS EN BOVEDAS.- Con antigüedad mayores a los 100 años, cimentaciones con profundidades mayores a los 2 mts., muros muy pesados de sillar con espesores hasta de 1 mt. que arrojan una alta densidad de muros y alturas de 3 a 4.5 mts., ejerciendo una alta sobrecarga al piso (4,000 Kg/ml del muro), los techos en bóveda también son muy pesados, ejerciendo una carga muerta de 1,000 Kg/m<sup>2</sup>, este conjunto muro-techo arroja un enorme peso que hace que en el momento del sismo actúe también una considerable fuerza horizontal cortante, dichos muros a pesar de su espesor, muchas veces se fisuran a través del mortero de cal-arena que si bien es bueno cuando fresco, con el tiempo reacciona con el sillar y se vitrifican perdiendo adherencia y toda resistencia al esfuerzo horizontal (Foto 2), las bóvedas se agrietan casi - siempre por su eje de simetría, debido al movimiento de los muros que la sostienen y que en algún momento hacen trabajar a estas a la tracción.

CON TECHOS DE RIELES.- Esta técnica es común en las viviendas

que poseen una antigüedad entre 45 y 100 años, con profundidades en la cimentación de 1.50 a 2.00 mts., muros esbeltos y techos - bastante pesados alcanzando cargas muertas de  $500\text{Kg}/\text{m}^2$ , prestando además una elevada cuantía de acero que produce una diferencia - de rigideces entre los bloques de sillar y las rieles, agriétándose casi siempre a lo largo de este.

CON TECHOS DE LOSAS ARMADAS.- Frecuentemente en las viviendas - con antigüedades entre 20 y 50 años, estas han experimentado un mejor comportamiento sísmico, debido a su mayor ligereza y a la disminución de sus alturas, requiriendo por lo tanto una menor - densidad de muros. Estas viviendas presentan leves daños típi--cos, generalmente son fisuramientos a lo largo del encuentro mu-ro-techo ya que este no lleva ningún anclaje con los muros, tam-bién son frecuentes las caídas del revestimiento de los techos - cuando estos presentan luces amplias.

CON TECHOS DE ALIGERADOS.- Que presentan un ligero alivio en el peso del techo comparado con las lozas, pero que permiten cubrir mayores luces sin problemas de "Pandeo"; son de construcciones - recientes, no mayores a los 30 años y también presentan fisuras entre la línea muro-techo, se ha comprobado que con el adelgasa-miento de la albañilería y las mayores luces en los ambientes mu-chas veces se descuida la densidad de muros, lo que origina di-versos grados de fisuramiento en dicha albañilería debido a corte o tracción diagonal.

#### 5.2.1.3 VIVIENDAS TIPO C

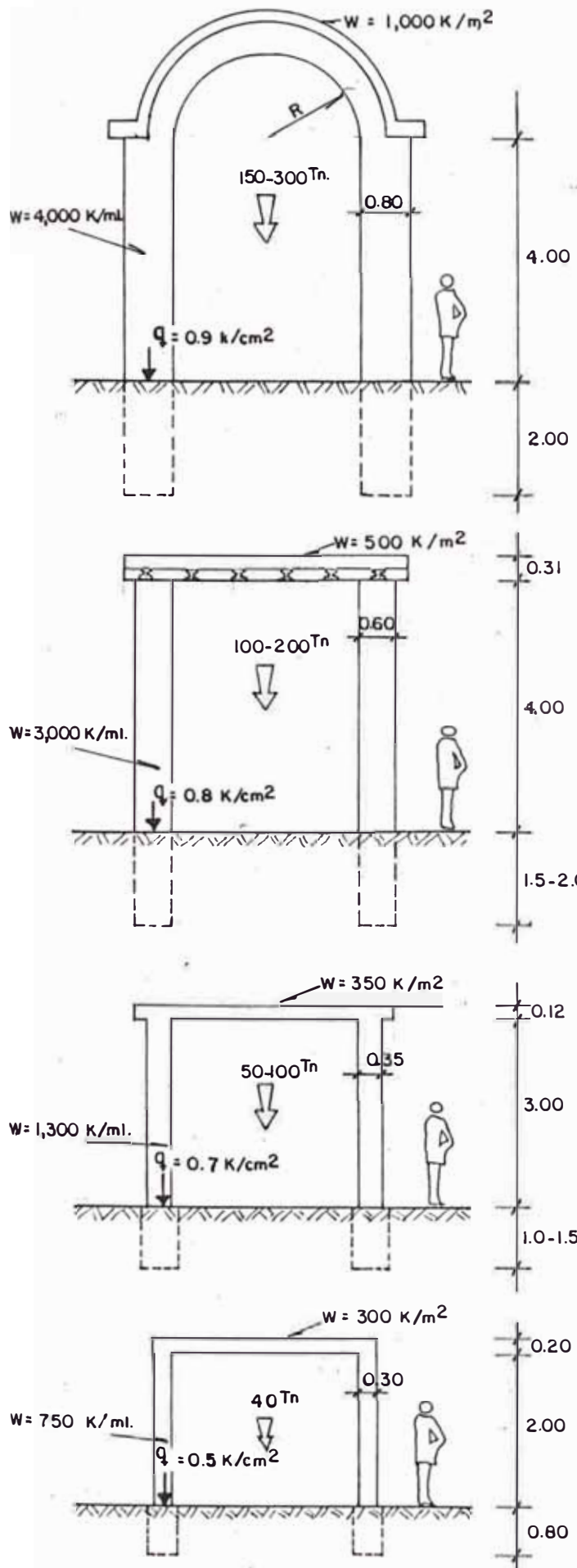
Estas viviendas de sistema constructivo bastante cono-cido y a cargo de gente profesional o con experiencia, soporta - eficientemente las solicitaciones sísmicas, debido a sus cualida-des ya conocidas.

#### 5.2.2 ANALISIS DE LA DENSIDAD DE MUROS

VIVIENDAS TIPO B EXISTENTES EN AREQUIPA

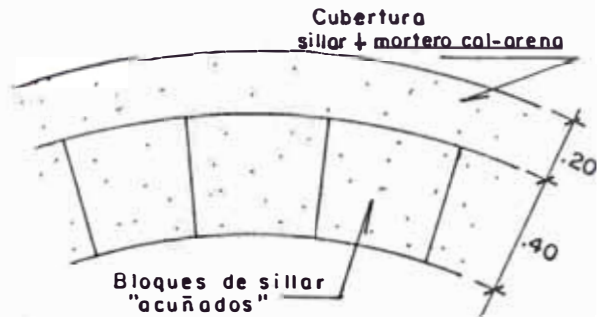
SUB-TIPO	ANTIGUEDAD (AÑOS)	TECHOS		MUROS (SILLAR)			CIMIENTOS		PRESION SUELO
		TIPO	S/C(K/m <sup>2</sup> )	ESPESOR (m)	ALTURA (m)	S/C(K/ml)	ANCHO Pm. (m)	PROF. (m)	
B-1	Muy Antigua >100	BOVEDA	1,000	1.00-0.60 (0.80)	4.50-3.00 4.00	4,000	0.80	2.00	(Luz Pm.=3.00m) 0.9 K/cm <sup>2</sup>
B-2	Antigua 100-45	RIELES Y SILLAR	500	0.80-0.40 (0.60)	4.50-3.00 4.00	3,000	0.60	2.00-1.50	0.8 K/cm <sup>2</sup>
B-3	Mediana-mente Antigua 50-20	LOSA	360	0.45-0.30 (0.35)	3.50-2.50 3.00	1,300	0.45	1.50-1.00	0.7 K/cm <sup>2</sup>
B-4	Reciente <30	ALIGERADO	300	0.35-0.25 (0.30)	3.00-2.40 2.50	750	0.40	1.20-0.80	0.5 K/cm <sup>2</sup>

# EDIFICACIONES TIPO B



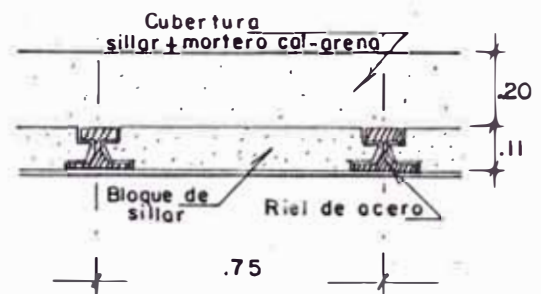
## 1. BOVEDAS

(>100 años)



## 2. RIELES

(45-100 años)



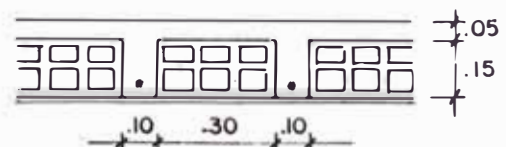
## 3. LOSAS

(20-50 años)



## 4. ALIGERADOS

(<30 años)



( FIGURA 7 )

Para analizar las construcciones bajo solicitaciones sísmicas, hemos escogido 50 viviendas del tipo B de diferente grado de daño, con la finalidad de verificar el requerimiento sísmico de la capacidad resistente al corte de los muros de albanilería, aplicando el método de Densidad de Muros.

Como sabemos éste método consiste en determinar la relación que existe entre el área total de muros de corte en la dirección considerada y el área techada total acumulada por encima del nivel de estudio.

En casos de solicitaciones sísmicas, dicha relación debe ser mayor o igual a la relación entre la fuerza horizontal de corte producido por el sismo y el esfuerzo de corte admisible por los muros de albañilería.

Las viviendas escogidas, cumplen con las 3 limitaciones de éste método los cuales aseguran los efectos de torsión, de volteo y rigidez de la loza.

Para iniciar el trabajo, se comenzó haciendo el levantamiento arquitectónico de cada una de las viviendas escogidas describiendo detalladamente el tipo de construcción y los materiales empleados para lo que se diseñó la ficha 2, Anexo.

Una vez efectuado el trabajo de campo se procesaron las fichas, resumiendo los datos en el listado 2, Anexo.

#### Cálculo del Area Mínima de Muros de Corte

Densidad del sillar = 1.26 T/m<sup>3</sup>

Densidad de Riel = 0.04 T/ml

Densidad de Techos:

- En bóveda = 1.26 T/m<sup>3</sup>

- De rieles = 1.60 T/m<sup>3</sup>

- De loza en concreto armado	=	2.40 T/m <sup>3</sup>
- Aligerados	=	1.50 T/m <sup>3</sup>
Coefficiente Sísmico C	=	0.27 (suelos tipo I)
Esfuerzo Admisible V	=	0.15 $\sqrt{f'm}$

Para trabajar con un coeficiente sísmico aplicable a nuestras viviendas, partimos del hecho de que éstas debido a su poca ductilidad absorben gran cantidad de energía sísmica, por lo que obtamos por el máximo coeficiente permisible (0.40), al cual lo afectamos del factor de ductilidad correspondiente (1.5), dicho coeficiente, esta referido a estructuras sobre estratos - duros (suelos tipo I), debiendo aplicarse un factor de amplificación para suelos tipo II y III del 20 y 40% prespectivamente (R.N.C.).

Para calcular el esfuerzo de compresión de los muros de albañilería ( $f'm$ ), usamos el método II del reglamento, el cual recomienda:

$$f'm = \frac{2}{3} (28 + x \cdot f'a)$$

- Donde X = Coeficiente de Mortero: (0.20)

x f'a = Esfuerzo de rotura por compresión de la unidad de albañilería : (60 K/cm<sup>2</sup>)

$$f'm = \frac{2}{3} (28 + 0.20 \times 60) \times 0.70$$

$$f'm = 18.2 \text{ K/cm}^2$$

Resultado obtenido tras aplicar una reducción del 70% debido a que el mortero de cal arena resiste a la compresión aproximadamente en un 70% de lo que resiste el mortero cemento arena, dicho resultado es equivalente al mínimo especificado por el reglamento, para un muro con ladrillo poco duro y mortero

tipo N; con lo cual podemos calcular el esfuerzo de corte para muros sin confinamiento.

$$V = 0.15 \sqrt{18}$$

$$V = 6 \text{ K/cm}^2$$

Con estos datos podemos realizar los siguientes cálculos:

$$\text{Peso de Muros } P_m = A_m \times H_m \times D_m$$

$$\text{Peso de Techo } P_t = A_t \times E_t \times D_t$$

$$\text{Peso de Vivienda } P_v = P_m + P_t$$

$$\text{Fuerza de Corte horizontal } F_h = C \times P_v$$

$$\text{Area requerida de Muros } A_{mr} = \frac{F_h}{V} \geq 0.02 A_T$$

$$\frac{A_{mr}}{A_T} = \frac{F_h}{V} \geq 0.02$$

Verificación de Areas.

$$\frac{A_{mrX}}{A_T} \geq \frac{A_{mrY}}{A_T} \geq \frac{A_{mr}}{A_T}$$

Donde:

- Hm = Altura de Muros
- Dm = Densidad de Albañilería
- Dt = Densidad de Techos
- Et = Espesor de Techos
- At = Area Techada Total
- Am = Area Total de Muros
- Amr = Area Requerida de Muros

Todos estos resultados se presentan en el listado 2, con el cual hemos podido verificar la influencia de la densidad



de muros en los daños y además obtener la sub-Clasificación de los tipos "B" en Arequipa, para los cuales se calcularon las sobrecargas y las dimensiones ya presentados en la tabla 4.

### 5.2.3 INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS EN LOS DAÑOS

Para verificar dicha influencia, hemos construido los gráficos 8A y 8B, donde se ve la relación del grado de daños versus la densidad de muros. Para esto tuvimos que escoger del listado 2, un número de viviendas que cumplieran requisitos similares, respecto a ciertas condiciones locales como:

- Antigüedades similares, escogiendo viviendas entre 20 y 45 años.
- Técnicas constructivas similares; escogiendo viviendas con alturas entre 2.50 y 3.00 mts. y de techos ligeros de lozas delgadas o aligeradas.
- Condiciones de suelos similares; en lo posible escogiendo viviendas cimentadas sobre áreas con suelos homogéneos y de estados similares.

La influencia de la Densidad de Muros en los daños se puede observar claramente; pues la tendencia del gráfico indica que a mayor densidad de muros, la respuesta sísmica de las construcciones es más eficiente, pues los daños son más leves.

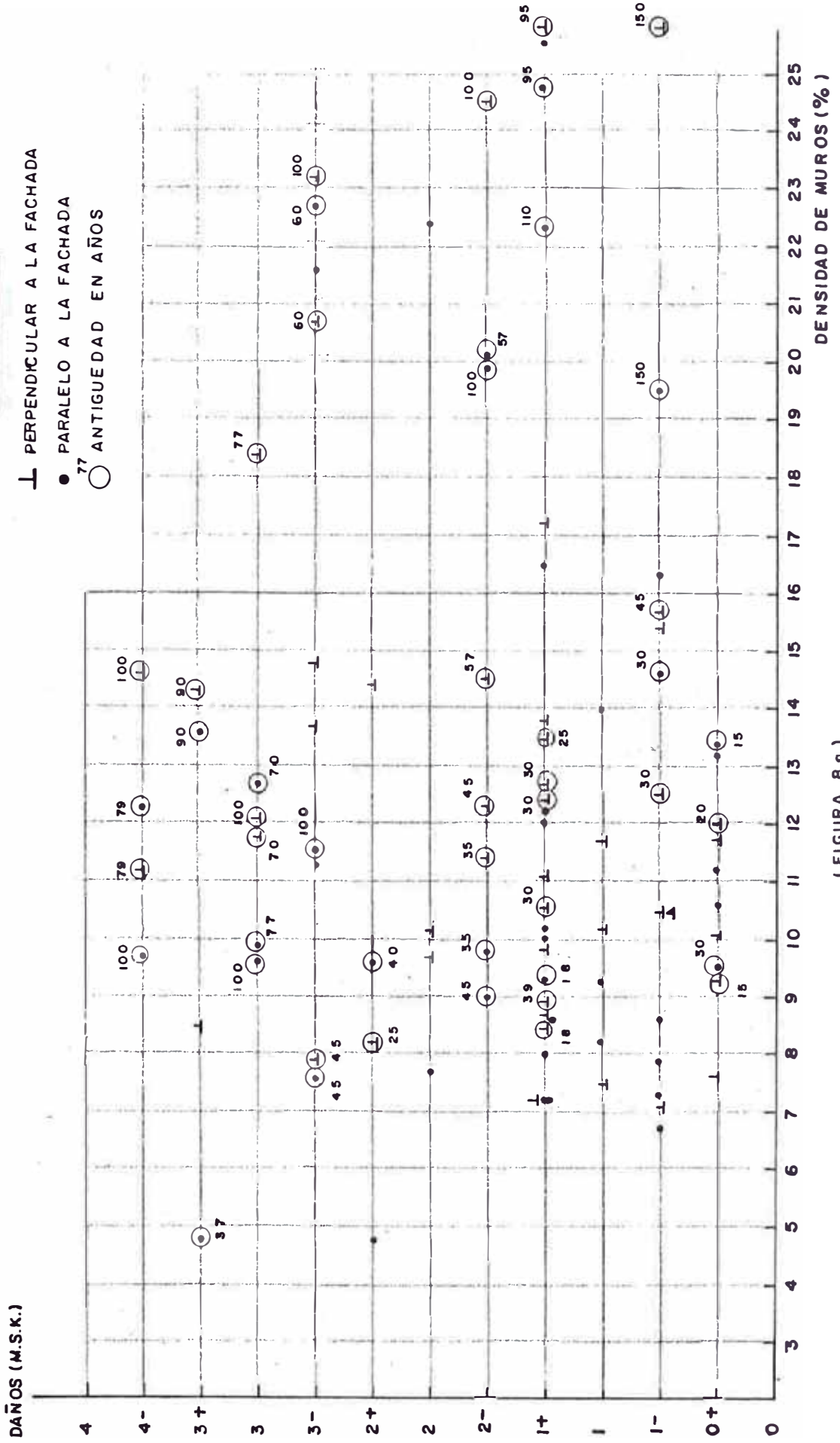
Lógicamente el hecho de escoger estas viviendas con condiciones similares, nos ha permitido trazar esta recta, pues de lo contrario tal como nos sucedió en la primera tentativa (gráfico 8A), no habiéramos obtenido ninguna tendencia aceptable, sino un agrupamiento disperso; pues habían muchos casos en que para una misma densidad de muros, los daños eran muy diferentes,

# RELACION DE LA DENSIDAD DE MUROS CON LOS DAÑOS

( VIVIENDAS TIPO B )

## LEYENDA

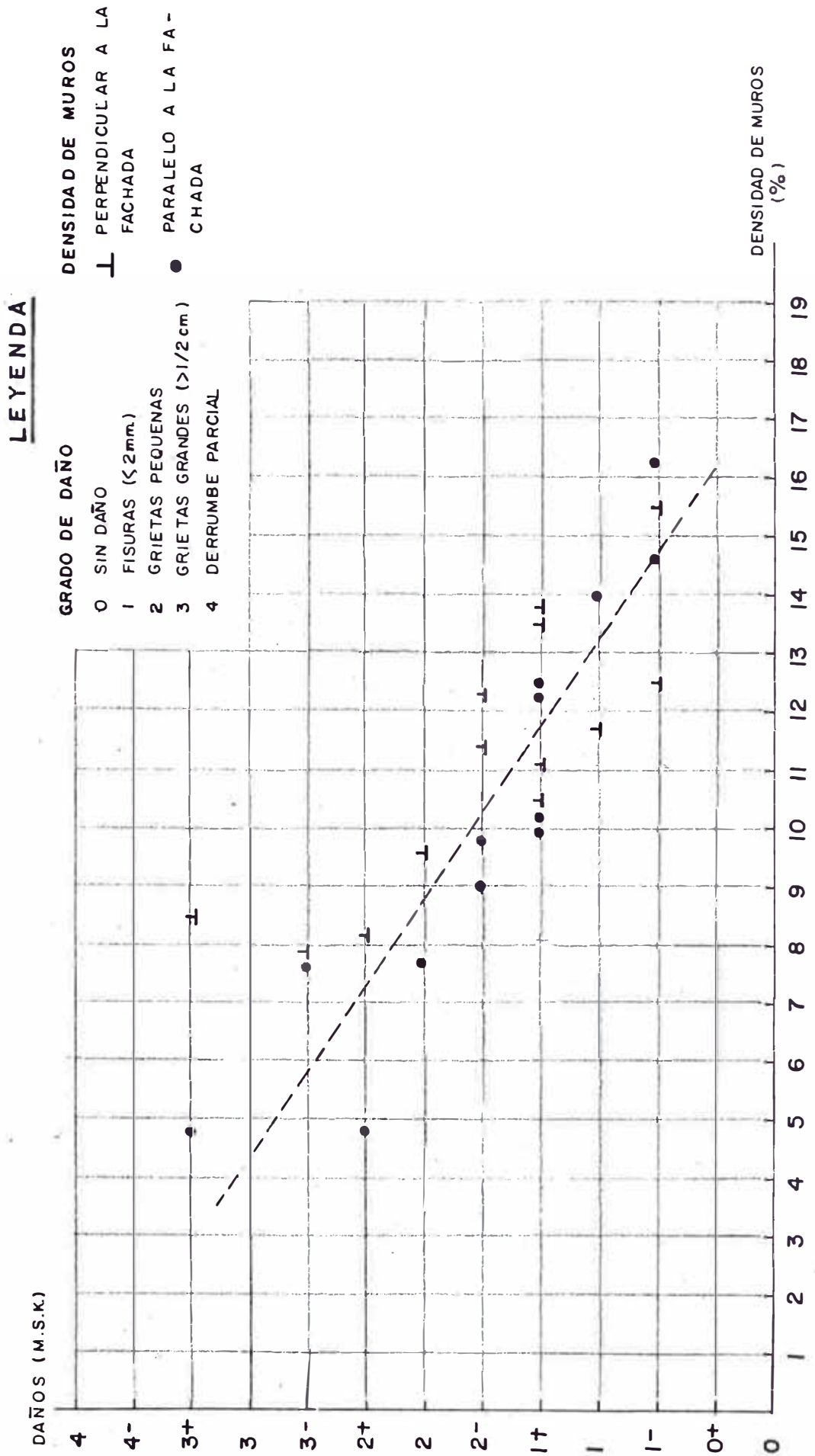
- └ PERPENDICULAR A LA FACHADA
- PARALELO A LA FACHADA
- <sup>77</sup> ANTIGUEDAD EN AÑOS



( FIGURA 8 a )

# INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS EN LOS DAÑOS

(VIVIENDAS TIPO B)



( FIGURA 8b )

lo que era explicable entre viviendas de diferente antigüedad, diferente técnica constructiva o diferencia muy marcada de suelos.

### 5.3 INFLUENCIA DE LA SITUACION TOPOGRAFICA DE LAS EDIFICACIONES

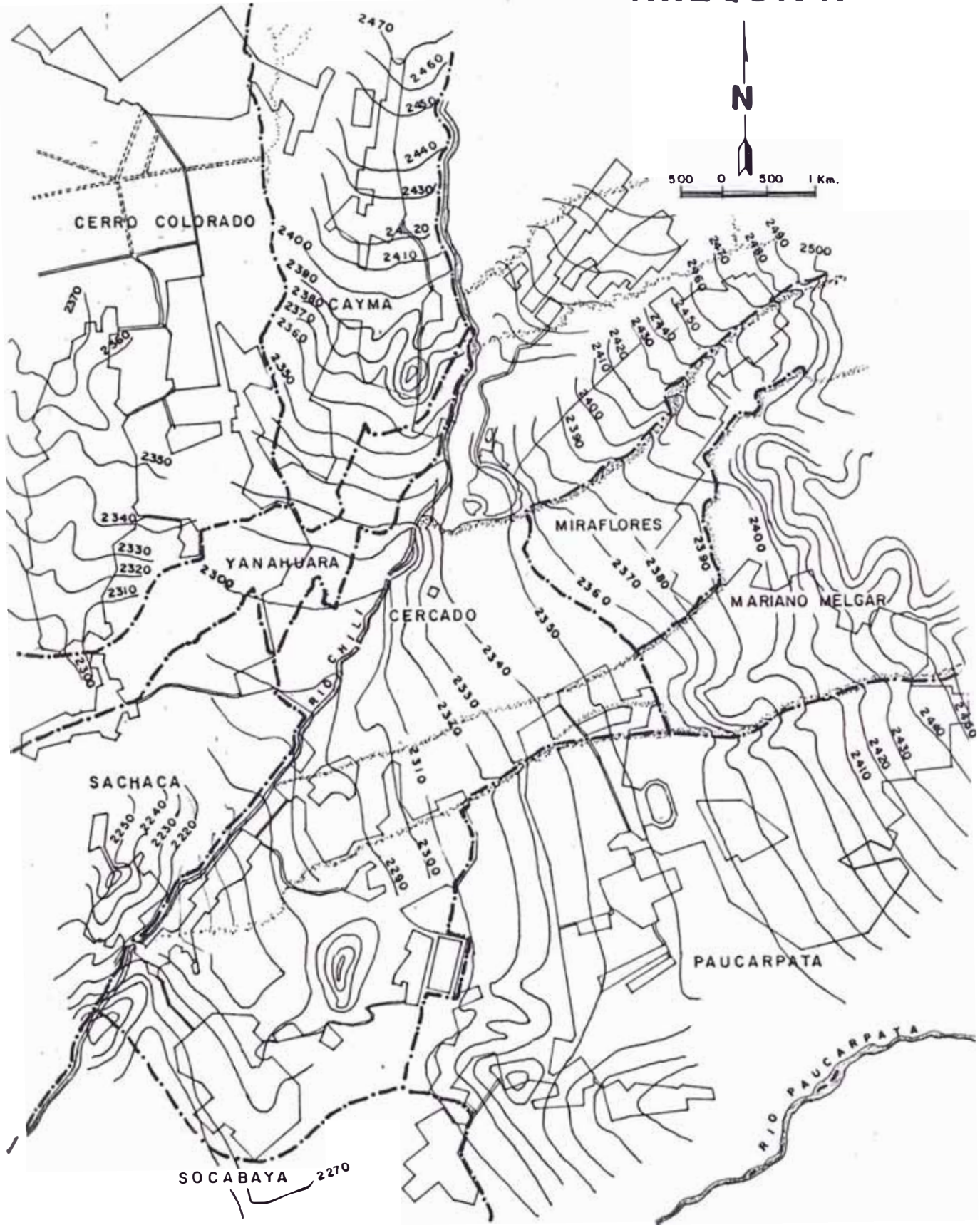
Con este tercer factor, tenemos en cuenta la topografía superficial que rodea al punto de estudio, consideración que nos ha permitido verificar algunas áreas donde las condiciones de alta pendiente o cercanías a barrancos han influenciado claramente en los daños. (Figura 9).

Así por ejemplo, en el centro de la ciudad la franja entre la calle Bolívar y el Río Chili, presenta pendientes de hasta 17% como en la calle Ugarte (Foto 11 y 12), en donde las viviendas han sufrido serios daños, debido a que esta topografía condiciona a que las estructuras lleven muros de diferente longitud, presentando formas trapezoidales en sentido de la pendiente lo que origina concentraciones de esfuerzos. Lo mismo pasa en el área oeste de la calle Cruz Verde.

Otro caso muy claro donde la topografía condiciona factores negativos, se da en el área aledaña a la "Torretera de San Lázaro", siendo más notoria a la altura del barrio de Chapi Chico; lugar donde la quebrada se acentúa más en ancho y profundidad, alcanzando taludes con ángulos de reposo mayores al ángulo de fricción que conjuntamente con la naturaleza friccionante del suelo y los rellenos artificiales sueltos, originan problemas de estabilidad de taludes; área que actualmente se encuentra completamente poblada, existiendo viviendas cimentadas al borde de esta torretera, en donde se han observado severos daños a pesar de la ligereza y buena construcción que caracteriza a estas viviendas de construcción reciente.

A parte de estos peligros potenciales, existe el riesgo de que en tiempos de lluvia estas torreteras se carguen de -

# AREQUIPA



## PLANO TOPOGRAFICO

-  RIOS
-  LIMITES DISTRITALES
-  TORRENTERAS
-  CURVAS DE NIVEL

( FIGURA 9 )

un momento a otro inundando y arrasando todo lo que este cerca no a su cauce en las partes bajas donde este se encuentra casi a nivel de las pistas, o cambiando bruscamente el contenido de humedad de los suelos que conforman los taludes en las partes altas, comprometiendo muy seriamente la estabilidad de estos.

#### 5.4 CONCLUSIONES

Las viviendas tipo B poseen una gran amplitud de antiguedades, lo que conjuntamente con la frecuencia de sismos en Arequipa da lugar en muchos casos a una superposición de daños ocasionados por sismos pasados, si bien esto fue un factor que nos hizo mas dificultoso el trabajo de evaluación de las viviendas, por otra parte nos ha permitido realizar una verificación garantizada de ciertos comportamientos de las estructuras a través de los años.

Este amplio rango de antiguedades hace de que se encuentren variadas técnicas constructivas que fueron evolucionando a través de los años, encontrando una gran relación entre la antigüedad de la construcción y la técnica empleada, pudiendo distinguir claramente los cuatro grupos ya descritos, por lo que el mapa de antigüedades de la lámina 2 constituye indirectamente también un mapa de distribución de técnicas constructivas.

Respecto a las técnicas constructivas encontradas podemos concluir que antiguamente las edificaciones se caracterizaban por presentar muros demasiado anchos y altos que conjuntamente con los techos de gran espesor, daban como resultado estructuras demasiado pesadas, la tendencia con el tiempo ha sido de bajar las alturas y espesores de los muros, tratar de aliviar el peso de los techos y con ello aligerar el peso total de la vivienda, lo que desde el punto de vista sísmico es más conveniente ya que la fuerza de empuje horizontal será menor cuanto menor sea el peso de la estructura.

Las estructuras de una planta como es el caso de las viviendas estudiadas, debido a su poca ductilidad en caso de movimiento absorben gran energía sísmica, es por esta razón que - sus muros, principales elementos resistentes al corte deben cumplir con un requerimiento mínimo de densidad de muros en uno u otro sentido; en el análisis efectuado hemos podido verificar que las viviendas con mayor densidad de muros han experimentado un menor grado de daño, relación que tiene una clara tendencia - para viviendas con condiciones análogas.

Al investigar al sillar como unidad de albañilería y evaluar su comportamiento en las viviendas estudiadas, podemos concluir que presenta las siguientes ventajas:

- Es un material liviano, arrojando una densidad de  $1.2 \text{ T/m}^3$  - en comparación con  $1.8 \text{ T/m}^3$  del ladrillo de arcilla.
- Debido a la rugosidad de su textura se puede conseguir una buena adherencia del mortero cemento-arena, teniendo cuidado de humedecer previamente el bloque, ya que al igual que el ladrillo de arcilla posee un alto porcentaje de absorción.
- Por su aspecto agradable y su color blanquesino se puede usar como caravista.
- Su resistencia es similar a la de un ladrillo poco duro ( $f'_{ca} = 60 \text{ K/cm}^2$ ) y suficiente para el rango de esfuerzos que produce una vivienda.
- Es un material que abunda en las canteras de Arequipa por lo que con una explotación industrial su costo en obra sería relativamente económico.

Podemos entonces resumir que los materiales usados, el método para aplicar estos y el diseño y concepto estructural,

constituyen lo que estamos denominando técnica constructiva vale decir obra y proyecto de la construcción, que conjuntamente con la antigüedad de dicha construcción a la fecha, determinan la condición estructural de la vivienda y por consiguiente su respuesta sísmica.

Esta respuesta sísmica, aparte de la condición estructural va a estar influenciada además por las condiciones de sitio donde este ubicado la vivienda, tales como la topografía, - la geología local y el suelo de cimentación.

Respecto al factor topográfico, se ha podido detectar la influencia de este en zonas bastante localizadas, ya que en general como se ha visto la topografía de la ciudad no es muy - relevante.



## C A P I T U L O   V I

### GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA DE AREQUIPA

#### 6.1 GEOLOGIA DE AREQUIPA Y ALREDEDORES

La geología regional de Arequipa, expone diferentes Unidades litológicas, de naturaleza ígnea, sedimentaria y metamórfica, cuyas edades comprenden desde el Pre-Cambriano hasta el cuaternario reciente.

Regionalmente la formación más antigua, correspondiente a la edad Pre-Cambriana, está constituida por el GNEIS de Charcani, que puede ser considerado como basamento, caracterizado por un conjunto de rocas metamórficas resultado de la transformación de areniscas feldespáticas con material volcánico intercalado, en varios lugares, estas rocas gnéissicas se encuentran intimamente ligadas a pequeñas intrusiones graníticas.

Sobre esta descansa el jurásico inferior, representado por la formación VOLCANICO CHOCOLATE, así denominada por el Dr. Williams Jenks, compuesta por derrames y brechas volcánicas de color rojo opaco y gris oscuro con algunas intercalaciones.

sedimentarias, de los cuales se extraen los mármoles de Yura. Descansando en discordancia erosional con dicha formación, se encuentra el jurasico superior con una gran potencia, conformando de abajo hacia arriba por las CALIZAS DE SOCOSANI y por la FORMACION YURA, compuestas por series de pizarras, areniscas y cuarcitas.

El cretácico inferior esta representado por la formación MURCO, compuesta por areniscas y pizarras, y por las calizas de la formación ARCURQUINA, esta última de una potencia representativa de 668 mts.

Estas formaciones jurasicas y cretácicas ya mencionadas, posiblemente de ambiente marino en su totalidad, ofrecen una secuencia muy bien expuesta y desarrollada, aunque tal vez con ciertas lagunas estratigráficas que no han sido determinadas por la ausencia de fósiles guías.

A las rocas terciarias, no se les ha podido asignar una edad precisa, debido a la carencia de fósiles, habiéndoseles asignado una edad relativa por comparación con otras de la región, - así las formaciones SOTILLO Y HUANCA, se les considera del terciario inferior, en base a su posición estratigráfica y correlaciones estructurales, al igual que las formaciones TACASA formado por derrames volcánicos, tufos y sedimentos en la parte inferior y la formación MILLO de conglomerados y areniscas tufaceas.

Por último tenemos el Cuaternario constituido por una gruesa acumulación de material volcánico y por sedimentos clásticos; el más antiguo esta representado mayormente por las rocas - del GRUPO BARROSO, diferenciado en VOLCANICO CHILA de Andesitas afaníticas gris oscuras, por intemperismo rojizas y en VOLCANICO BARROSO de Andesitas gris oscuras porfídicas de grano grueso ambos constituyendo la Cadena del Chachani y Misti. Encima de estos se tiene los depósitos de Flujos de Barro, Morrenas, Fluvio-glaciares, depósitos Piroclásticos recientes con bancos de

## COLUMNA ESTRATIGRAFICA GEOLOGICA

ERA	SIS-TEMA	SERIE	UNIDADES	GROSOR (m)	SIMBOLO	
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	Depósitos eólicos Depósitos aluviales	2,000(?) + 50	Q-e Q-al	
			DISCORDANCIA		Depósitos piroclásticos recientes	Qr-pi
		PLEISTOCENO	DISCORDANCIA		Morrenas y fluvio glaciares	Q-mfg
			DISCORDANCIA		Flujos de barro	Q-fb
			DISCORDANCIA		Grupo Volcánico Barroso Barroso Volcánico Chila	Q-rba Q-Vchi
			DISCORDANCIA		Conglomerado aluvial Pleistoceno	Q-pl
			DISCORDANCIA		DISCORD. EROSIONAL	
	TERCIARIO	SUPERIOR	Volcánico Sencca	+150	Tp-vse	
			DISCORD. EROSIONAL			
			Fm. Millo	60	Ts-mi	
		MEDIO	DISCORDANCIA			
				Grupo Tacaza	800	Tm-t
			DISCORDANCIA			
		INFERIOR		Fm. Sotillo	250	Ti-s
DISCORDANCIA						
		Fm. Huanca	1,400	Ti-h		
		DISCORD. ANGULAR				
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	Fm. Chilcane	100(?)	Ks-chi	
			Fm. Arcurquina	668	Kms-ar	
		INFERIOR	Fm. Murco	300	Ki-mu	
	JURASICO		GRUPO YURA	2,900		
		SUPERIOR				
		DISCORD. EROSIONAL				
		MEDIO	Fm. Socosami	270	Jm-so	
DISCORD. EROSIONAL						
INFERIOR	Volcánico Chocolate	1,000(?)	Ji-cho			
		DISCORD ANGULAR				
PRECAMBRICO		COMPLEJO BASAL DE LA COSTA	(?)	Pe-gm		

lapilli alternando con capas de arena y depósitos eólicos y aluviales de gravas, arenas y limos.

Estos últimos depósitos ALUVIALES, constituyen el suelo de la mayor parte de las llanuras y depresiones como en la Pampa de Vitor, Pampa de Curas, Pampa Chiclayo, etc. y también ocupando el lecho y ladera de los diferentes riachuelos, quebradas y a lo largo de los valles principales como el Vitor, Yura y Chili, este último sirviendo de asiento a la área urbana de Arequipa, presentando un material consistente principalmente de gravas o conglomerados poco consolidados, arenas y limos. (Fig. 10A),

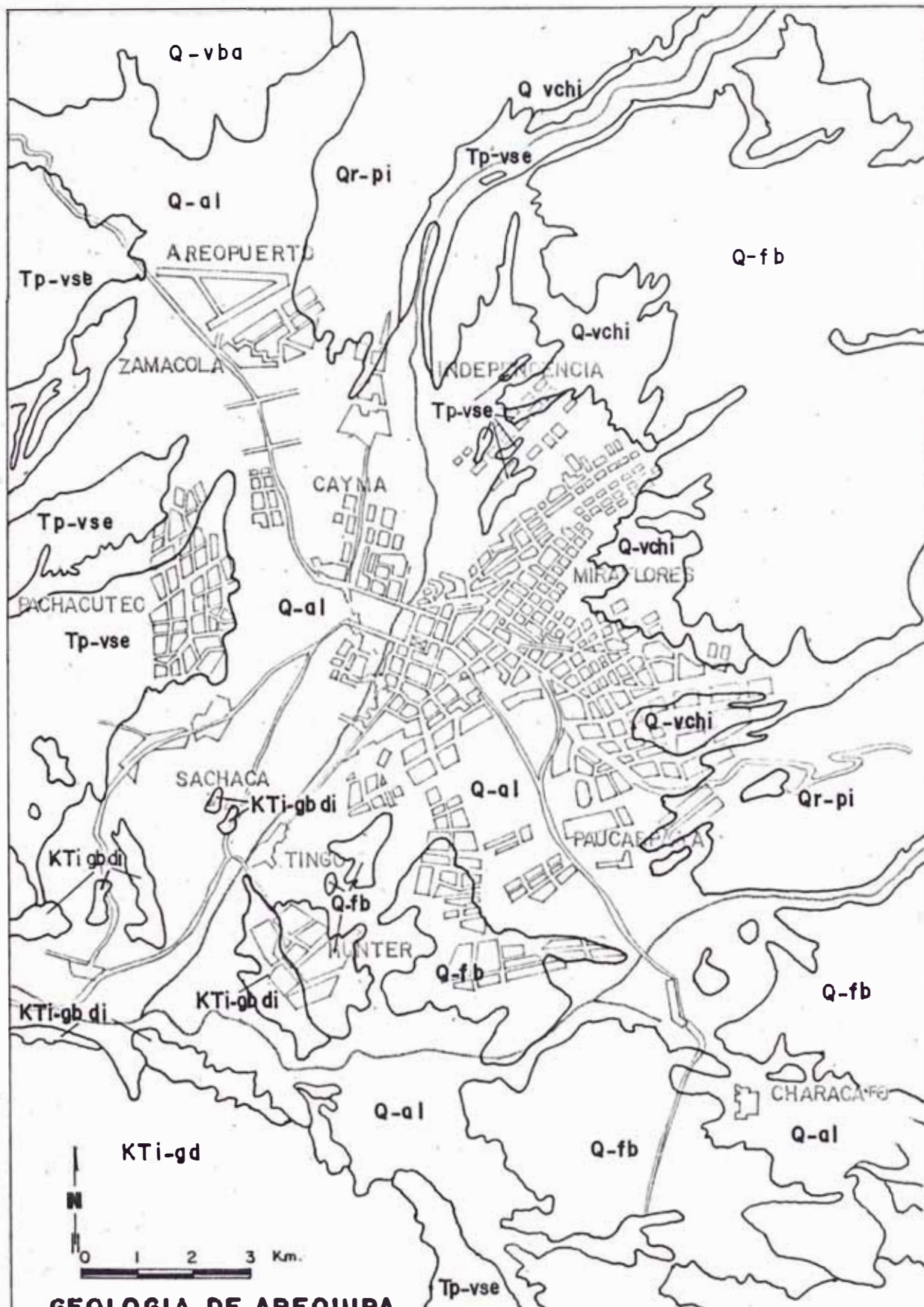
El espesor es variable dependiente del carácter de la deposición y la configuración topográfica de la superficie sobre la cual se depositaron.

## 6.2 GEOMORFOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO

Para ampliar más el panorama geomorfológico, hay que reconocer tres zonas dentro de Arequipa y alrededores: (Fig.10B).

- Las Zonas costaneras al interior de Mollendo y Mejía.
- La ancha planicie habida y suavemente inclinada que se extiende a continuación hasta los cerros de la caldera y por último,
- El ramal andino de bajas montañas que constituyen el sistema de cerros de este nombre y que se extiende entre Vitor y Arequipa.

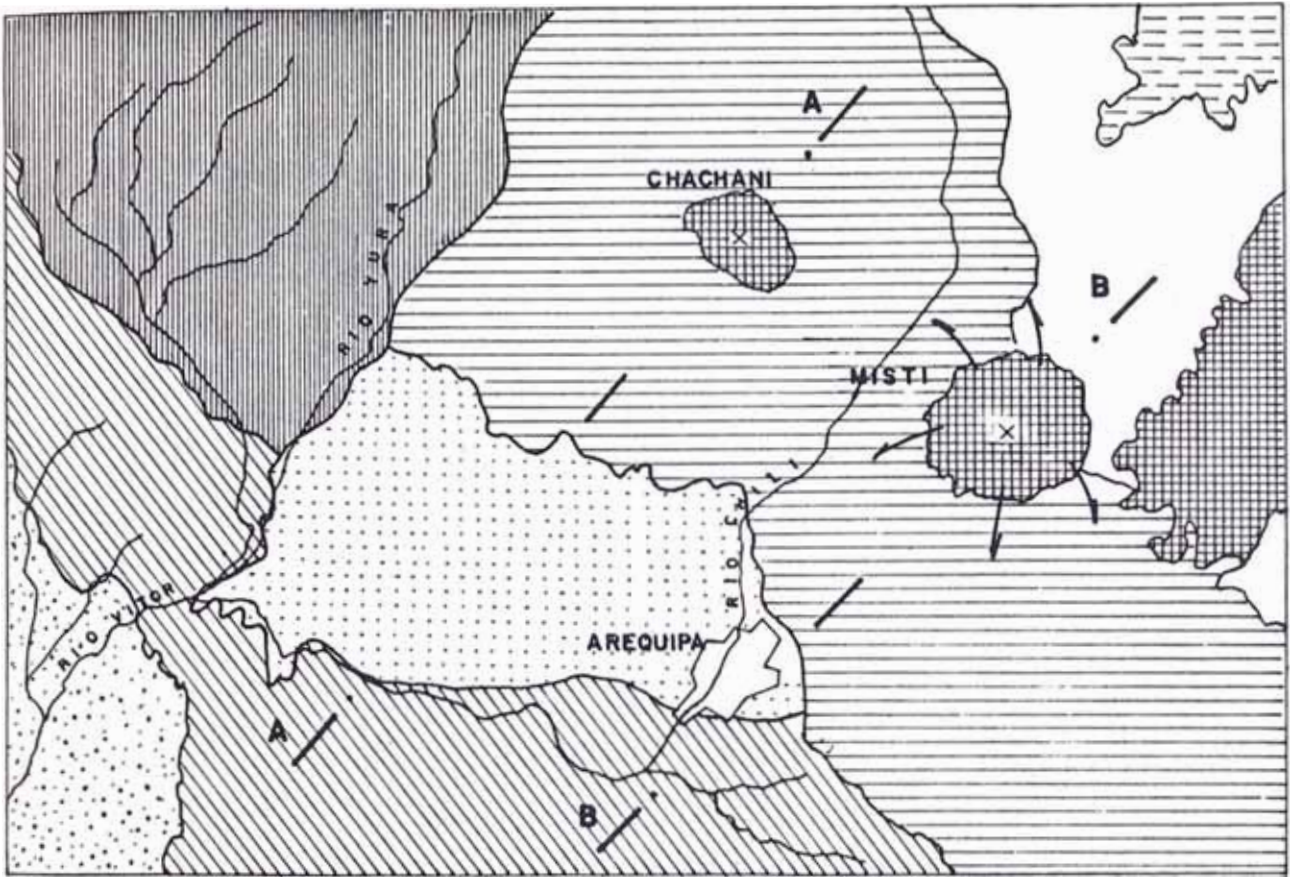
Para efectos de nuestro estudio, lo que nos interesa, es la geomorfología de la tercera zona, o sea el ramal andino de los cerros de la caldera constituido por rocas de tipo y origen muy variados, y lo que es área de nuestro estudio el Valle de Chili que discurre en el fondo de una estrecha garganta, en



### GEOLOGIA DE AREQUIPA

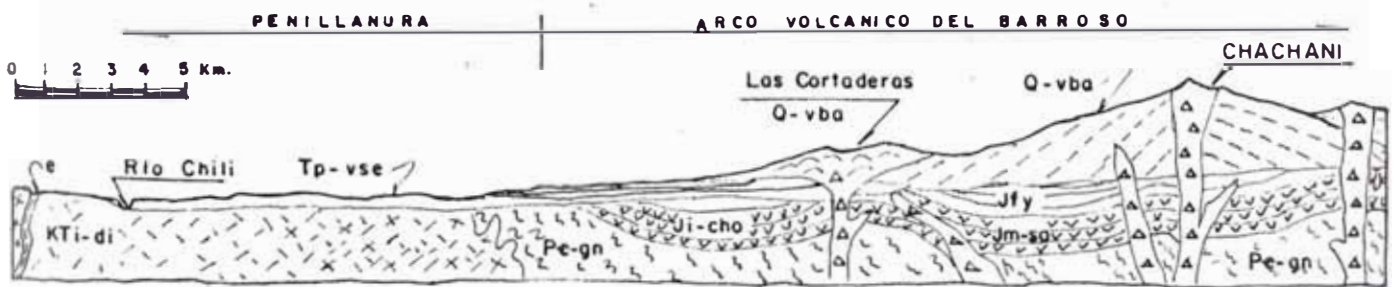
Q-al	DEPOSITOS ALUVIALES	Q-vba	VOLCANICO BARROSO
Qr-pi	DEPOSITOS PIROCLASTICOS RECIENTES	Tp-vse	VOLCANICO SENCCA
Q-fb	FLUJOS DE BARRO	KTi-gd	GRANODIORITA
Q-vchi	VOLCANICO CHILA	KTi-gb di	GRUPO GABRODIORITA

( FIG. 10A )

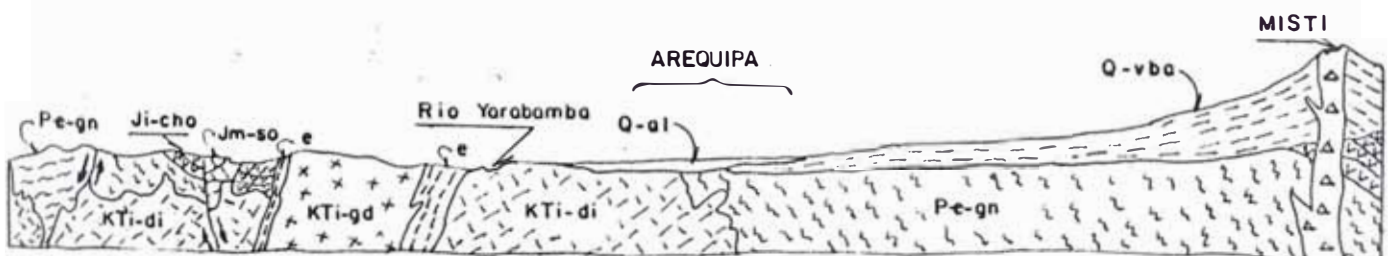


## GEOMORFOLOGIA DE AREQUIPA

- |   |                         |   |                             |
|---|-------------------------|---|-----------------------------|
|  | PLANICIE COSTANERA      |  | ESTRIBACIONES DEL ANTIPLANO |
|  | CORDILLERA DE LADERAS   |  | ARCO VOLCANICO DEL BARROSO  |
|  | PENILLANURA DE AREQUIPA |  | ZONA DE CONOS VOLCANICOS    |



CORTE A-A



CORTE B-B

cuya parte superior se puede distinguir gruesas capas de sillar rosado, el cual se extiende debajo de toda la ancha región triangular entre Arequipa, Yura y la desembocadura del río de este nombre, o sea, en un área de 450 Km<sup>2</sup>., conocida como Penillanura de Arequipa.

Las potentes deposiciones de sillar ya sea blanco o rosado tuvieron su origen en una tremenda erupción volcánica que se produjo más o menos 800 mil años como resultado de la expulsión de una gran masa cargada de gas, a través de fisuras en las faldas del Chachani. Al llegar a la superficie salió con tal violencia el gas que la lava se desmenuzó en pequeñísimos fragmentos vitreos al mismo tiempo que escapaba cargado de partículas de roca que en lugar de esparcirse en el aire como humo se mantuvo en la proximidad del suelo. Esta masa mezcla de gases y sólidos ha elevada temperatura irrumpió a gran velocidad a través del ancho valle que existía entre Arequipa y Yura.

A medida que la masa gaseosa descendía fue llenando las depresiones cubriéndolas completamente hasta el pie de los cerros de la caldera. Conforme se iba enfriando, perdía velocidad y sus elementos sólidos se sedimentaron alcanzando sobre toda la zona un manto potente de material parecido a la ceniza volcánica, pero diferenciándose de ella por su carácter compacto, es así como por erupciones sucesivas del tipo descrito se formaron derrames de sillar hasta de 150 mts. de espesor.

Por los volcánes que rodean la región se expelieron, también enormes cantidades de lava basáltica fluída que cubrieron el sillar al sur de Yura; y más tarde, de los mismos cráteres del Chachani y del Misti, salieron flujos viscosos de Andesita que cubrieron extensas áreas de basalto con centenares de metros de espesor.

Como es natural, el súbito relleno de la amplia llanura ondulante que se extiende al oeste de los volcánes, produjo

desplazamientos en el drenaje del área. Los ríos fueron represados temporalmente y obligados a tomar nuevos cauces y sus depósitos se extendieron por toda la región.

El Misti al nor-este de Arequipa es uno de los mejores ejemplares de un alto cono volcánico, pues mientras que su cráter está a 5,821 m.s.n.m., su base se halla a sólo 2,700 mts. un ligero cálculo muestra el volumen del cono del Misti más o menos 150 Km<sup>3</sup>., constituido por material llevado a la superficie a través de una "Chimenea" o conducto interno del volcán.

Las cenizas llegaron a muchos kilómetros de distancia las más finas, mientras que las gruesas y los fragmentos de mayor tamaño dieron origen al cono mismo. Grandes derrames de lava se escurrieron por las faldas de este cono al mismo tiempo - que se fracturaba en su base para salir por sus grietas nuevos productos magnéticos.

Por esta región de alternancia de lava endurecida y sólidos residuales en las erupciones se puede decir que el Misti es un volcán compuesto. Su cráter que tiene 1,200 m. de diámetro, parece haberse formado durante un último y violento paroxismo explosivo.

El Chachani y el Pichupichu, parecen ser volcánes ya extinguidos y de actividad más remota que el Misti, del fondo - de cuyo cráter aún se veían escapar gases y vapores que formaban los penachos de humo que ocasionalmente se distinguían desde larga distancia.



### 6.3 CONCLUSIONES

En resúmen, respecto a la geología de Arequipa podemos concluir que su constitución presenta los tres principales grupos de rocas, igneas, sedimentarias y metamórficas con edades que van del Pre-Cambriano hasta el Cuaternario, de todas estas - la más antigua esta constituida por el GNEIS de Charcani considerado como basamento; sobre este descansan diversas formaciones - hasta llegar al terciario y cuaternario, que es la parte que más nos interesa y que esta constituida por materiales volcánicos y por depósitos clásticos en las cuales se asienta la mayor parte de la ciudad de Arequipa.

Esta formación geológica violenta del cuaternario, producto de las tremendas erupciones volcánicas primero del Chachani y luego del Misti y los desplazamientos originados en el drenaje del área, han hecho de que exista una geología local muy cambiante dentro del área urbana, presentando depósitos aluviales, depósitos piroclásticos, flujos de barro, tufos volcánicos, afloraciones de rocas igneas, extrusivas e intrusivas, etc. dan donos con esto, como veremos más adelante, la oportunidad de comparar el comportamiento de las estructuras sobre cada depósito - geológico frente al paso de las ondas sísmicas.

## C A P I T U L O   V I I

### INFLUENCIA DE LA CONDICION LOCAL DEL SUELO

#### 7.1 ORIGEN GEOLOGICO DE LOS SUELOS DEL AREA URBANA

Como ya hemos dicho en el área urbana de Arequipa existen diversos tipos de suelos, esto debido a su formación geológica algo violenta. Desde este punto de vista, podemos observar los siguientes tipos de suelos (Lámina Nº 3, Anexo).

##### 7.1.1 Suelos Constituidos por Rocas Igneas

###### 1.- Intrusivas

Estos suelos están compuestos, principalmente por granitos, granodiorita, diorita, monzonitas y pórfidos cuarcíferos, todas estas rocas se caracterizan por tener buena dureza y densidad y poseer una estructura interna enteramente cristalina o vidriosa o una combinación de ambas, pudiendo ser de acuerdo a la proporción de sus componentes, de colores claros a oscuros, presentándose porosos y aún vesiculares.

Este tipo de suelos afloran en la zona del Batolito de la caldera, anteriormente mencionado, como en los pueblos de Sachaca, Alata, en Hunter, Tingo y San Juan de Dios; asentados sobre suelos de monzonitas y dioritas, que superficialmente se le encuentra fracturada, intemperizada y cubierta de detritus en un espesor no mayor de 40 a 50 cm.

Tanto las dioritas como las monzonitas son muy buenas para la cimentación por su alta resistencia, siempre y cuando las rocas sean sanas y no alteradas por factores climáticos u orgánicos, las partes débiles superficiales deben ser removidas, las fracturas limpiadas y a la vez rellenadas con simple mortero de cemento, la resistencia a la compresión de la diorita es mayor de 20 k/cm<sup>2</sup>., por lo que la profundidad de la cimentación puede ser mínima sin ningún riesgo.

## 2.- Extrusivas

Las rocas extrusivas son principalmente derrames de Andesita, basalto, tufus, etc., los suelos de rocas andesíticas, están constituidas por grandes bloques brechados de color gris claro a negro, pasando por gris verdoso y rojo brumaceo debido a los diversos estados de descomposición de los minerales ferromagnesianos; debido a su brusco enfriamiento que originó la disyunción de la roca, permite la acción del intemperismo y efectos erosivos que dan como resultado la destrucción de la roca con el consiguiente acarreo del material por el agua de lluvias.

Este tipo de suelos se le encuentra en el NE de la ciudad en los Distritos de Mariano Melgar, Miraflores, Cerro Juli y Zona Norte de la Urbanización Independencia.

Estos suelos al igual que los intrusivos son buenos para cimentar, teniendo la precaución de protegerlos contra el intemperismo y la erosión.

### 3.- Lodo Volcánico

Constituído por una cantidad de material mueble que luego de haber sido saturado de agua forma una masa viscosa y espesa que puede desplazarse por gravedad en favor de la pendiente de una región montañosa y con una velocidad que depende de esta y de su grado de saturación, estos depósitos alcanzan potencias hasta de 300 mts. en las proximidades de su origen, disminuyendo su espesor a la altura del pueblo de Socabaya.

Estos lodos volcánicos se encuentran al sur de la ciudad, en las Urbanizaciones Simón Bolívar, 3 de Octubre, San Martín de la Apacheta y Salaverry.

Respecto a su uso para cimentaciones, podemos decir que se trata de un material volcánico heterogéneo cementado por un material tufáceo, con inclusión de fragmentos angulosos de andesita y con bolones hasta de 5 mts. de diámetro, lo que le da condiciones de buena resistencia a sollicitaciones externas.

#### 7.1.2 Suelos Volcánicos

##### 1.- Tufos

Son los suelos de sillar blanco, constituído por feldespatos, plagioclasas, cuarzo, laminillas de mica negra, vidrio volcánico y fragmentos de andesitas y pómez, su color es blanco y en algunos lugares amarillentos y café claro por descomposición de sus elementos constituyentes, se ha calculado una potencia promedio de 80 mts.

Estos suelos sirven de base al Pueblo Joven Independencia, hasta las cercanías de Chilina Huarangueros.

Su resistencia a la compresión es bastante elevada, debido a su alta compacidad y cohesión apreciable, por lo cual se -

puede cimentar sin mayores problemas, pues su resistencia a la compresión promedio esta por los 50 kg/cm<sup>2</sup>.

## 2.- Tufos y Arenas

Más conocido como tufo rosado, que se forma de la descomposición del sillar rosado, compuesto por cuarzo y feldespato descompuesto y alterado, su coloración se debe a la descomposición de elementos ferromagnesianos como la hematita, magnetita y ocre, las inclusiones andesíticas y de pómez son similares a las que presenta el tufo blanco.

Se encuentran depositados en un amplio yacimiento, sirviendo de base a la Urbanización Semi Rural Pachacutec, Mariscal Castilla, Alto de la Libertad, Challapampa, etc.

Estos suelos son muy compactos y presentan alta cohesión, para efectos de cimentación son adecuados siempre y cuando se cuide de la humedad, pues a parte de poseer un alto porcentaje de absorción, al contacto con el agua se disgrega y pierde su cohesión, la cual es difícilmente recuperable.

## 3.- Piroclásticos

Estos están constituidos por detritus de origen volcánico explosivo que fueron expelidos al aire por un conducto, son similares a los tufos, con la diferencia de que el menor dinamismo en su deposición no permitió una clasificación en sus materiales, los cuales están sueltos sin coherencia y de diferente naturaleza, desde escorias gruesas y esponjosas hasta el material de grano más fino pasando por la piedra pómez y lapilli, hasta las cenizas, cuyos colores varían del blanco sucio al amarillo grisáceo.

Los vientos y aguas superficiales han actuado sobre todos estos materiales sueltos, provocando su erosión repositán-

dolos, dándoles un cierto grado de clasificación y mejorando tremendamente su compacidad.

Estos piroclásticos redepositados los encontramos al Norte de la ciudad en las Urbanizaciones Gráficos, Alto Selva Alegre, Apurímac, Leones del Misti y también en la Zona Este del Distrito de Paucarpata en las Urbanizaciones 15 de Agosto, Miguel Grau, Jorge Chávez, Ciudad Blanca, Progresista, etc.

Para efectos de cimentaciones podemos decir que son variables dependiendo básicamente de su medio de deposición, ya sea líquido, seco o redepositado, en la zona de Alto Selva Alegre se trata de piroclásticos redepositados y en altas compacidades lo que lo hace un buen suelo de cimentación.

### 7.1.3 Suelos Clásticos

Estos suelos están compuestos por materiales de acarreo como bolones, gravas, arenas, limos y ceniza volcánica de origen aluvial, predominando las arenas de graduación pobre, con diferente cantidad de limo generalmente no plástico y grava, alternando con estratos gravosos, compuesto de gravas, guijarros y bolos cuya matriz es esta misma arena. La naturaleza de los materiales más gruesos es de origen ígneo, en un menor porcentaje intrusivo, pero en su mayor parte volcánico o extrusivo, tales como piedra pomez, lapilli, etc. Generalmente no hay mucho orden en la deposición por lo que se trata de depósitos erráticos, estos se encuentran cubiertos por una capa de 1 ó 2 mts. de tierra vegetal o rellenos artificiales de arena limosa y escombros.

La mayor parte de la ciudad se encuentra asentada sobre estos depósitos, todo el cercado y el Distrito de Miraflores, Mariano Melgar y partes aladañas que se señalan en el mapa 3.

Para efectos de cimentación, en suelos que como ya hemos dicho, son de carácter errático se requiere de ensayos directos

en el lugar y como además se trata de suelos no cohesivos o de baja cohesión, estos ensayos requieren de una medida directa de la densidad relativa del suelo "in situ", o ensayos de resistencia a la penetración o punzonamiento, para poder obtener los parámetros de compacidad, que conjuntamente con los datos de humedad y estados iniciales de tensión, nos permitirán calcular sus capacidades de carga.

## 7.2 ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS EN LAS AREAS ESCOGIDAS

En los últimos años, con el avance de la Ingeniería antisísmica, se ha comprobado, que dentro de las influencias locales en los efectos sísmicos, la influencia del suelo de cimentación es uno de los factores más importantes en el comportamiento sísmico de las estructuras.

Es por ello que dentro de nuestro programa lo hemos considerado como tal y le hemos dedicado el mayor interés.

A continuación exponemos el planteamiento de esta parte del estudio:

### 7.2.1 OBJETIVO

Obtener la información necesaria para proponer normas y recomendaciones generales de cimentación a través de exploraciones de campo y ensayos de laboratorio que se realizaron en excavaciones a cielo abierto, perforaciones y descripción de perfiles.

### 7.2.2 AREAS DE ESTUDIO

Se escogieron estas áreas bajo dos criterios:

- a) De acuerdo a la distribución de daños ocasionados por el último sismo, escogiendo las partes dañadas

en las cuales es necesario un estudio de reparación o de futura remodelación urbana y las partes donde a pesar de la gran antigüedad de las edificaciones los daños han sido leves o en algunos casos nulos. Con lo cual se pudieron obtener conclusiones prácticas sobre la influencia suelo-estructura.

- b) De acuerdo al estudio de las áreas de futura expansión urbana, en las cuales es muy necesario obtener algunos datos sobre los suelos que soportarán futuras cimentaciones.

Este último programa no se pudo realizar por falta de recursos económicos.

### 7.2.3 EXPLORACION DE CAMPO

Para la exploración de campo, se aprovechó las excavaciones que realizó la Compañía de Teléfonos, excavaciones de algunos edificios altos en construcción, cortes naturales de terreno y excavaciones adicionales que se hicieron en los puntos donde fueron necesarios. (Fotos 5, 6 y 7).

El programa de trabajo ejecutado en el campo, fue elaborado para obtener la información adecuada de las condiciones -estratigráficas de las áreas escogidas y la calidad de los suelos subyacentes a dichas áreas, la profundidad de excavación se limitó al nivel crítico de cimentación de las viviendas escogidas para nuestro estudio y cuyas sobrecargas ejercen una presión considerable a profundidades de 1, 2, 3 y 4 mts. como máximo, tal como se muestra en la Figura 23b.

El método de exploración utilizado en este trabajo fue seleccionado de acuerdo al tipo de suelo y a la información que se deseaba obtener, considerándose para los sondeos el sistema -





( 5 )

### EXCAVACIONES AL PIE DE LAS VIVIENDAS

EXCAVACIONES EN PLENO CENTRO DE AREQUIPA, REALIZADAS POR LA COMPAÑIA DE TELEFONOS, EN LAS CUALES PODIAMOS PROFUNDIZAR.

### RELLENOS SUPERFICIALES

RELLENOS DE TIERRA VEGETAL, DESECHOS DE CONSTRUCCIONES ANTERIORES, O DESMONTES. POR LO GENERAL EN ESTADO SUELTO. ( 6 )



( 7 )

### ESTRATIGRAFIA EN EL CERCADO

OBSERVESE EL RELLENO SUPERFICIAL, LUEGO DEBAJO, GRAVAS POBREMENTE GRADUADAS, ARENAS LIMOSAS Y ARENAS LIMPIAS.

de excavación a "cielo abierto", efectuándose en estos pozos, una descripción visual de la estratigrafía que posteriormente se ría verificada en el laboratorio y la toma de densidades naturales por el método del cono de arena (ASTM-1556) y el contenido de humedad natural, como se muestra en las fichas 3 y 4, Anexo.

#### 7.2.4 INVESTIGACION DE LABORATORIO

De cada uno de los pozos excavados se extrajeron muestras alteradas y se efectuaron ensayos para identificar y clasificar los suelos y consistieron en análisis granulométricos por tamizado (ASTM-D-422) y en algunos casos límites líquidos (ASTM-D-423) y límites plásticos (ASTM-D-424) (Ver fichas 5 y 6, Anexo).

Para obtener los parámetros de cálculo para las cimentaciones se efectuaron en el laboratorio los ensayos necesarios para evaluar las densidades máximas y mínimas de los suelos granulares y posteriormente poder calcular la Densidad Relativa, tal como se explica a continuación; (Ver Ficha 7, Anexo).

##### 7.2.4.1 DENSIDAD MAXIMA

Como ya hemos dicho gran parte del área urbana de Arequipa esta asentada sobre Gravas y Arenas Limpias, conteniendo porcentajes muy bajos de material fino, es por esto, que en los ensayos de laboratorio, al aplicarles los métodos de densificación por impacto se observan irregularidades debido a su naturaleza friccionante.

En el afán de obtener un mejor dato de la Densidad máxima, comenzamos a investigar sobre los Métodos de Vibración encontrando muy poca información sobre su aplicación.

Existe un método de Vibración Manual que consiste en saturar la arena en un molde, el cual es dejado caer libremente desde una altura de 5 cm. hasta producir una compactación tal

que se produzca la exudación del agua de saturación, al aplicar este se encontró bastante variación entre una y otra prueba.

Nos informamos del Método de Densidad Máxima Standardizado (100% de D.R.), bajo la norma de Densidad Relativa A.S.T.M. D-2049-69, el cual describe el método de vibración para suelos de baja cohesión, aplicando el método húmedo y método seco, para esto recomienda una determinada frecuencia y tiempo de vibración y una serie de especificaciones, las cuales serían fáciles de ejecutar si dispusiéramos del equipo que allí se propone; como no encontramos dicho equipo en ningún laboratorio, decidimos hacer una adaptación con el vibrador de mallas que disponía la Universidad (Foto 9). Una vez fabricado el equipo comenzamos a realizar pruebas en arenas, con la finalidad de obtener un método de vibración propio; adoptamos la forma de llenado del molde en 5 capas (al igual que el Proctor) obteniendo los resultados que se describen a continuación: (Fig. 11B).

#### 7.2.4.1.1 FRECUENCIA DE VIBRACION

De la Figura 12, podemos ver que a mayor frecuencia de vibración, mayor es la densificación que se produce en la arena.

Existe determinada frecuencia de vibración para lo cual la densidad se hace máxima y luego decrece.

En nuestro caso fuimos aumentando la frecuencia, con lo cual aumentaba la densidad, por lo que se escogió la frecuencia máxima disponible del equipo.

La frecuencia de vibración a usarse será de 960 ciclos/Mint. Y la amplitud promedio de vibración de aproximadamente 5 mml.

#### 7.2.4.1.2 TIEMPO OPTIMO DE VIBRACION

Para investigar el tiempo óptimo de vibración que debíamos dar, fabricamos un simple dispositivo de una varilla graduada en la cual podíamos leer el asentamiento de la arena en mml (Foto 6) se observó que conforme aumentan las capas, el tiempo de vibración también aumenta, esto debido al aumento de carga que ejercen las capas superiores y al incremento de la fuerza de caída al incrementar la masa del molde. (Fig. 13).

Para las arenas limpias (SW, SP), el tiempo de vibración necesario para producir la máxima compactación (máximo asentamiento) va de 30 hasta 120 seg. en la última capa, produciendo un asentamiento promedio de 17 mml., para el molde usado (Tabla 5).

En las arenas con bajos contenidos de finos (SP-SM), - vemos que el tiempo de vibración va de 30 a 75 seg. de la primera a la última capa respectivamente, produciendo un asentamiento promedio de 15 mml.

En las arenas limosas (SM) dicho tiempo va de 30 a 60 seg. con un asentamiento promedio de 12 mml.

De esto podemos concluir que el efecto de vibración es más prolongado en las arenas saturadas limpias que en las arenas saturadas limosas, esto parece ser debido a la diferencia de permeabilidad que cada una de ellas ofrece.

Teniendo ya nuestro propio método de vibración nos faltaba investigar algo muy importante que es cuando se debe aplicar el método de Vibración y cuando el de Impacto. (Ver Tabla 5).

#### 7.2.4.1.3 CRITERIO PARA LA APLICACION DE LOS METODOS DE IMPACTO O VIBRACION

Para esto se ensayaron los dos métodos para un mismo -

suelo y se comparó cual era el más eficaz.

Del gráfico de la Figura 14A, se observa que la curva de vibración arroja densidades muy altas para arenas limpias y conforme el porcentaje de finos aumenta su efecto disminuye; caso inverso sucede con la curva del método de proctor cuya efectividad aumenta con el porcentaje de finos.

El gráfico de la Figura 14B, muestra los vectores diferencia entre ambos métodos, encontrando un rango de intersección de ambas curvas entre el 16 y el 18 de finos.

Podemos entonces recomendar que para encontrar la máxima densidad en arenas (100% de D.R.) se use el Método de Vibración si estas contienen menos del 16% de finos, en caso de exceder este porcentaje y tener más del 18%, recomendamos el Método de Impacto del Proctor modificado.

#### 7.2.4.2 DENSIDAD MINIMA

Las densidades mínimas se ejecutan inicialmente en concordancia con la norma A.S.T.M. 2049 que consiste en "rociar" la arena con un embudo a una altura mínima de caída en forma de espiral, éste método tiene el inconveniente que se efectúa a pulso y la altura de caída es al "ojo".

Variamos el método a una altura de caída constante y con el embudo al medio, comprobando que de esa forma obteníamos densidades menores debido que al colocar el chorro de arena al centro se permite un rodamiento y dispersión de los granos.

Con la finalidad de standarizar la altura de caída ensayamos con alturas fijas respecto al borde del molde, observando que la variación de éstas arrojaban incrementos mínimos en la densidad, alcanzando el 1% de diferencia para alturas mayores a los 15 cm. sobre el borde.

### **EQUIPO DE CAMPO**

GRAN PARTE DEL CUAL, ES DE FABRICACION ARTESANAL

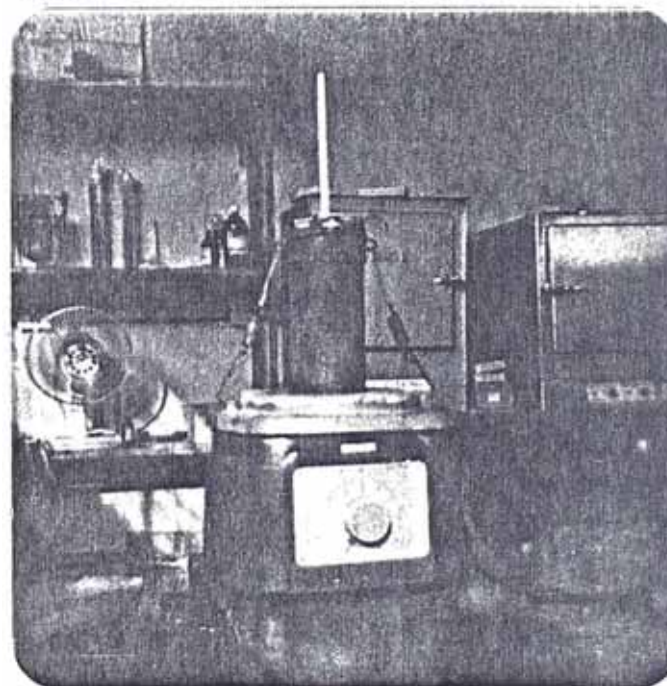
(8)



### **EQUIPO DE VIBRACION**

ADAPTACION DEL VIBRADOR DE MALLAS, CON UN MOLDE Y VARRILLA DE GRADUACION DE FABRICACION CASERA.

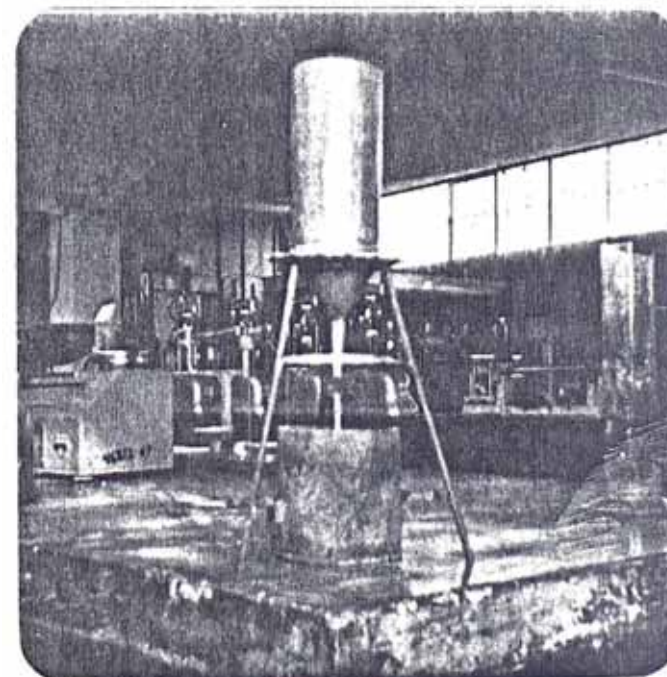
(9)



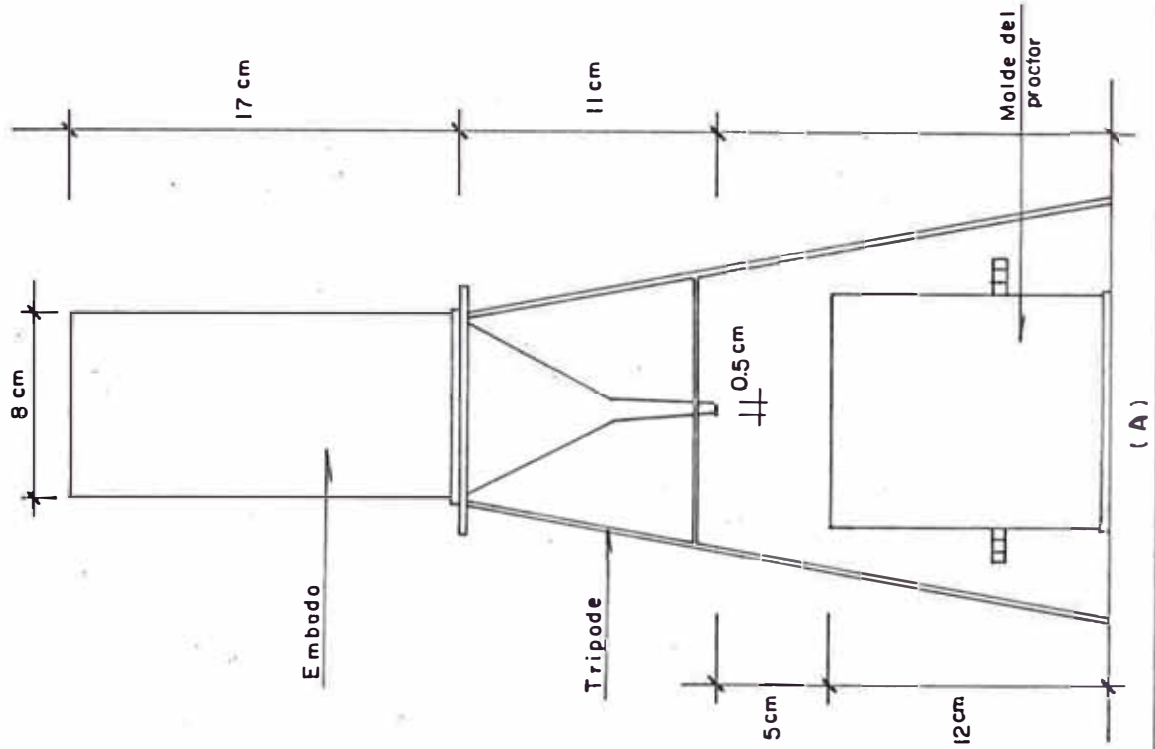
### **EQUIPO DE DENSIDAD MINIMA**

MOLDE, TRIPODE Y EMBUDO, CON ESPECIFICACIONES QUE ARROJAN LAS MINIMAS DENSIDADES REGISTRADAS.

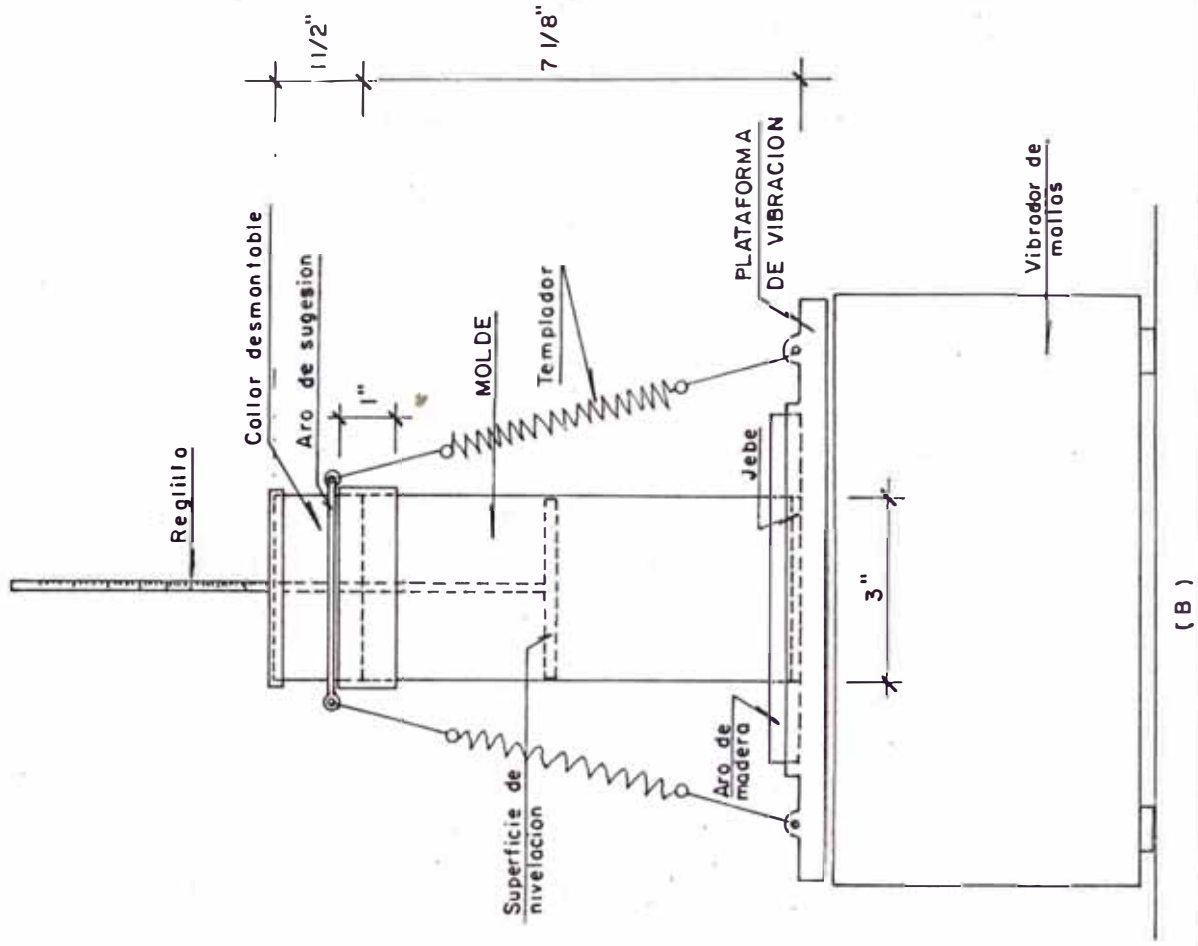
(10)



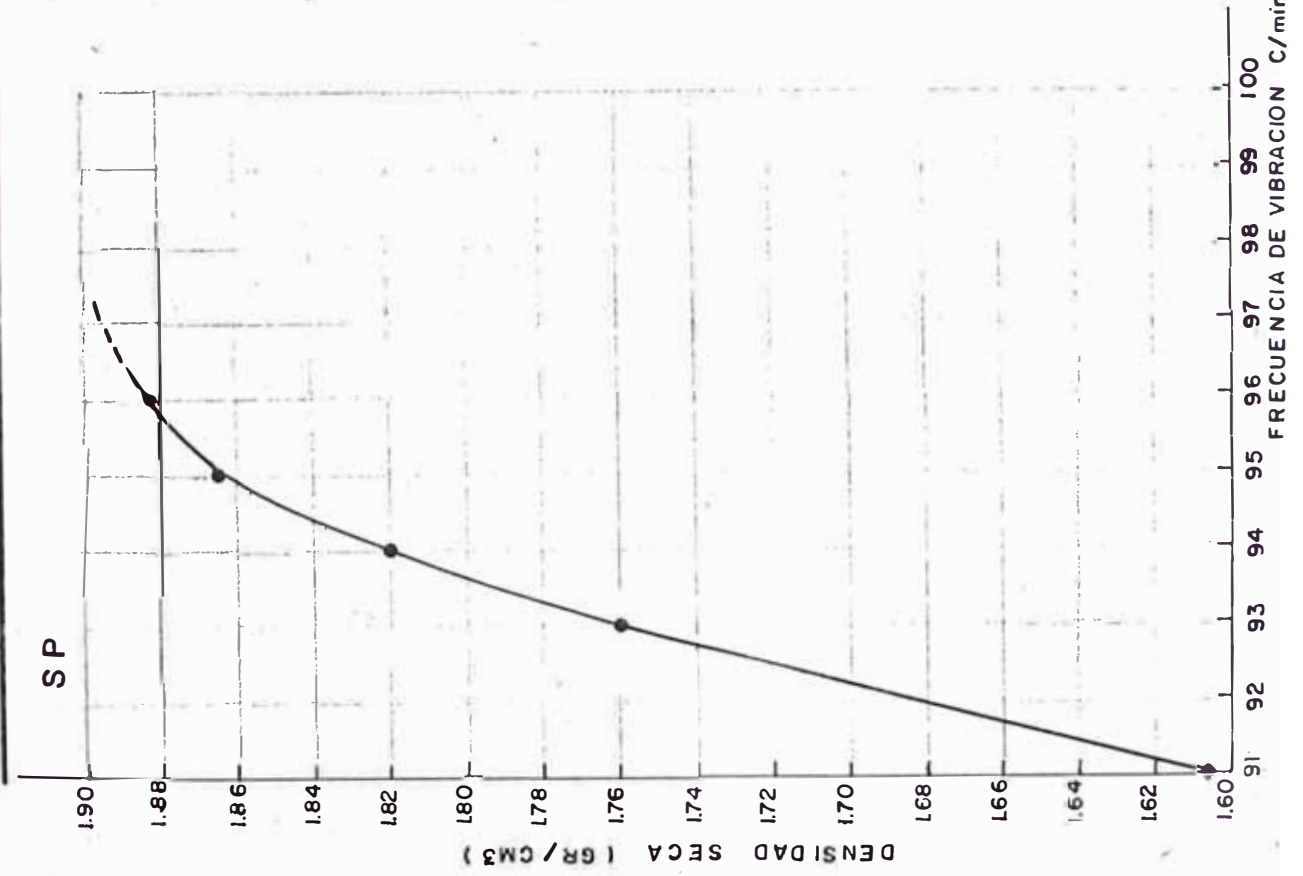
**DISPOSITIVO PARA DENSIDAD MINIMA**



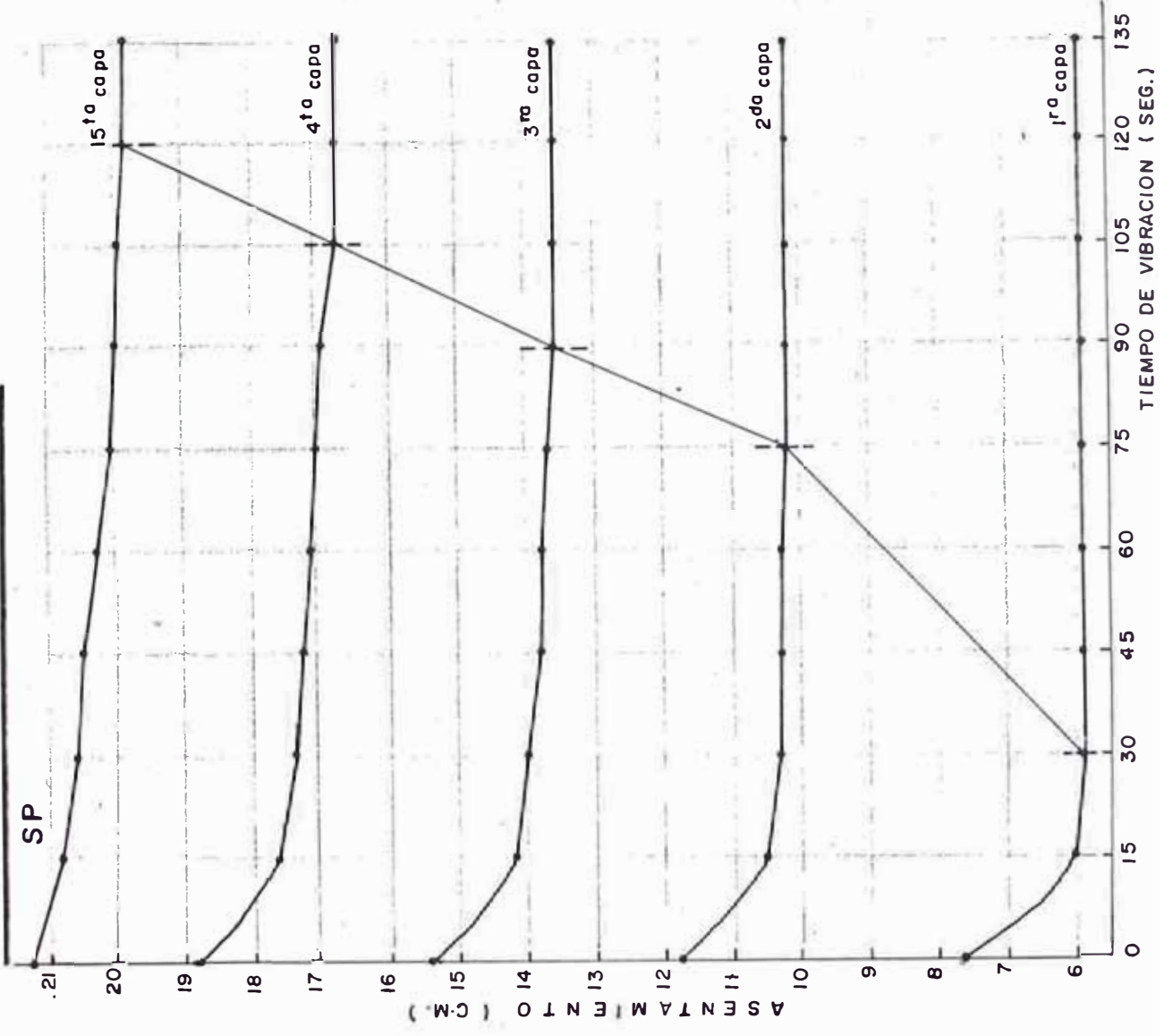
**DISPOSITIVO PARA DENSIDAD MAXIMA**



### FRECUENCIA OPTIMA DE VIBRACION



### TIEMPO OPTIMO DE VIBRACION

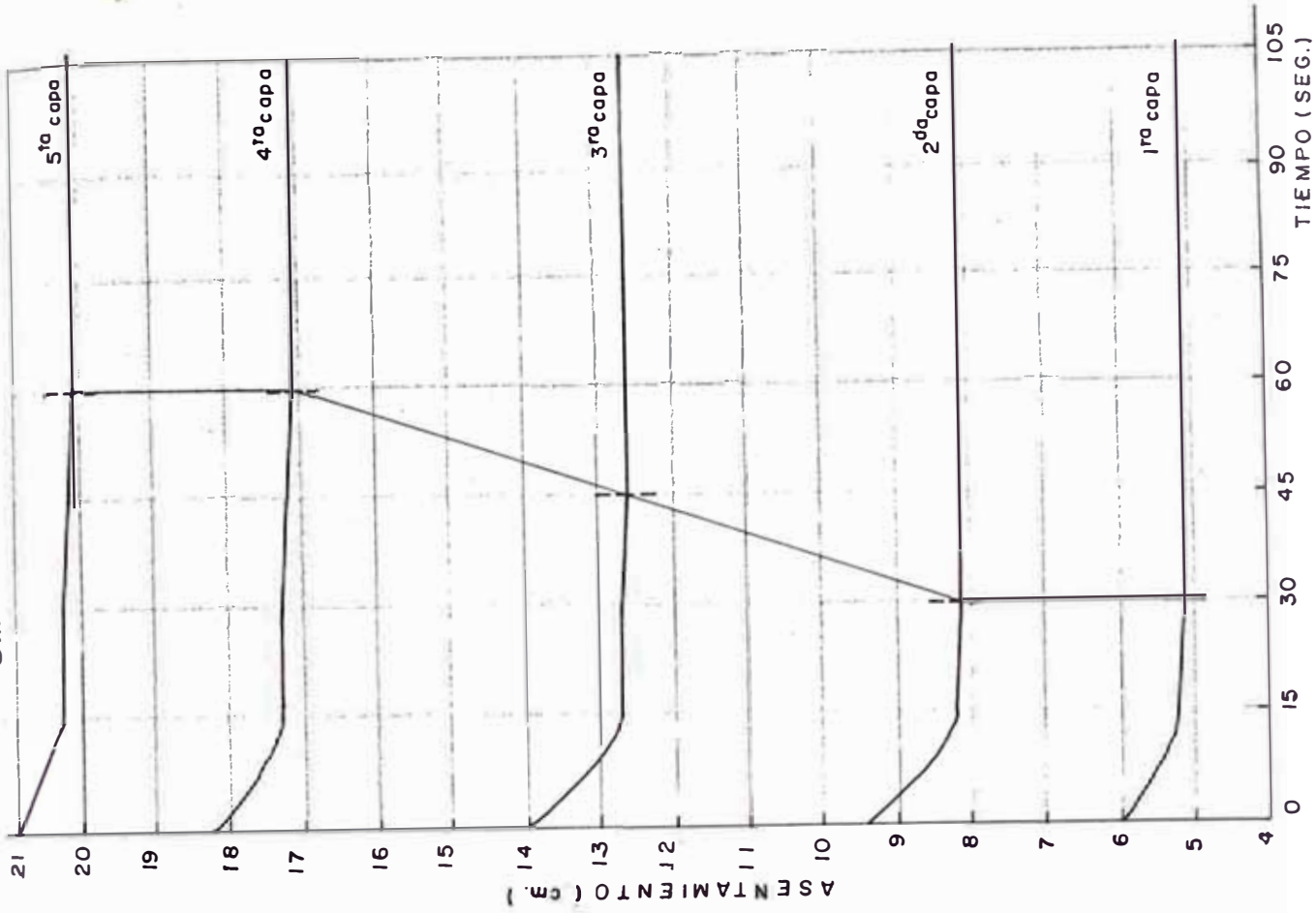


( FIGURA 12 )

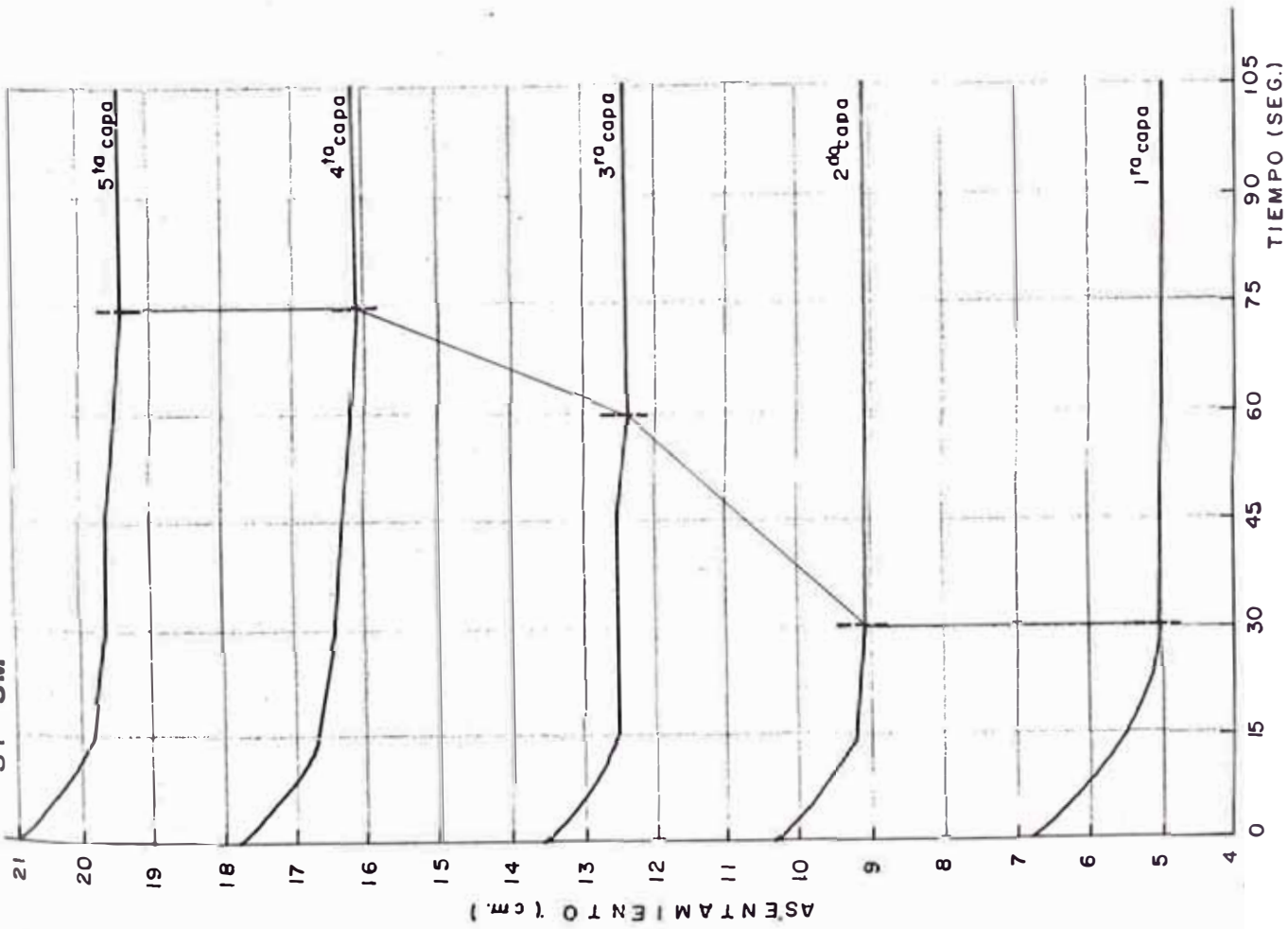


**TIEMPO OPTIMO DE VIBRACION**

SM



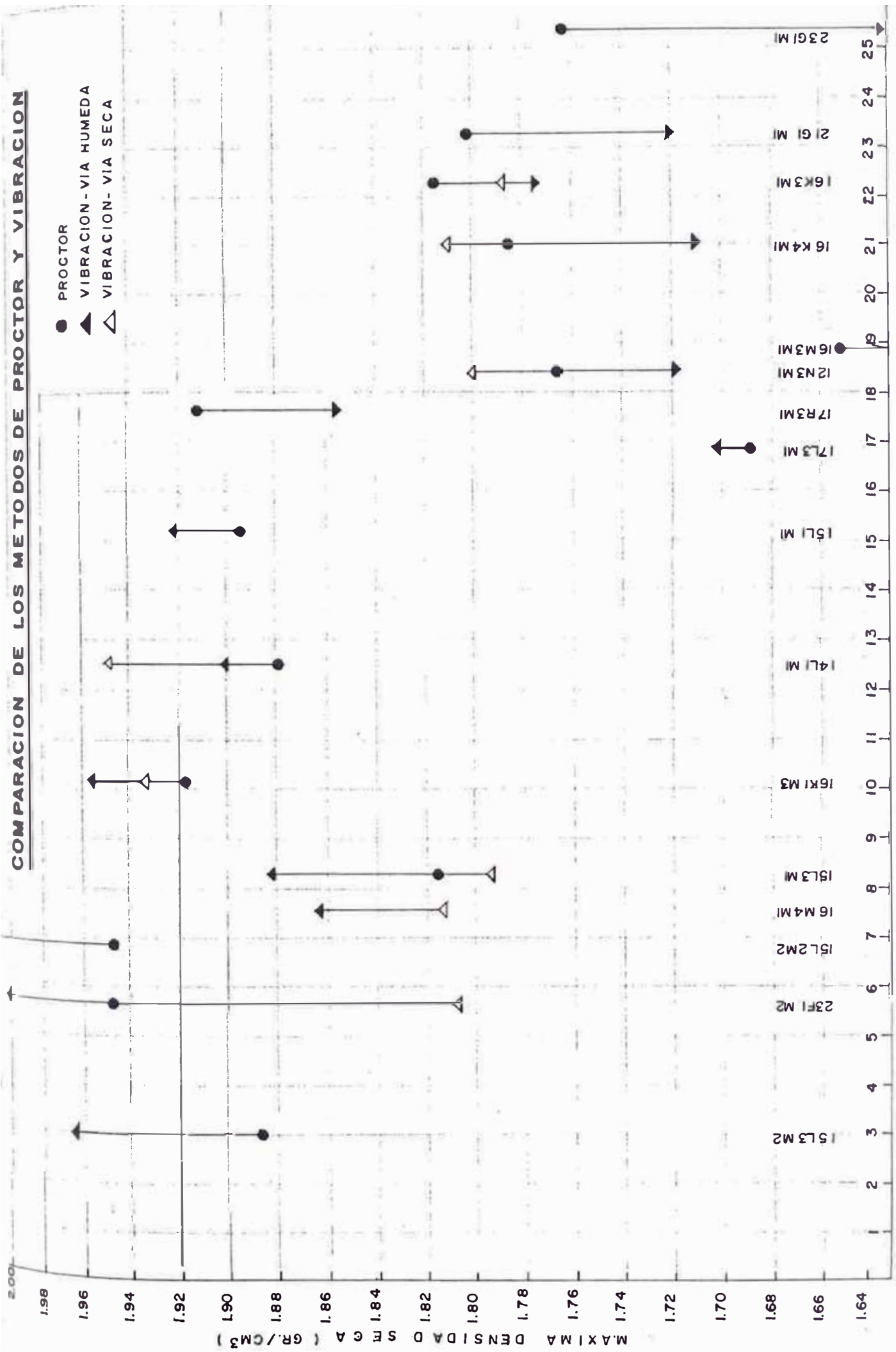
SP-SM



( FIGURA 13 )

# COMPARACION DE LOS METODOS DE PROCTOR Y VIBRACION

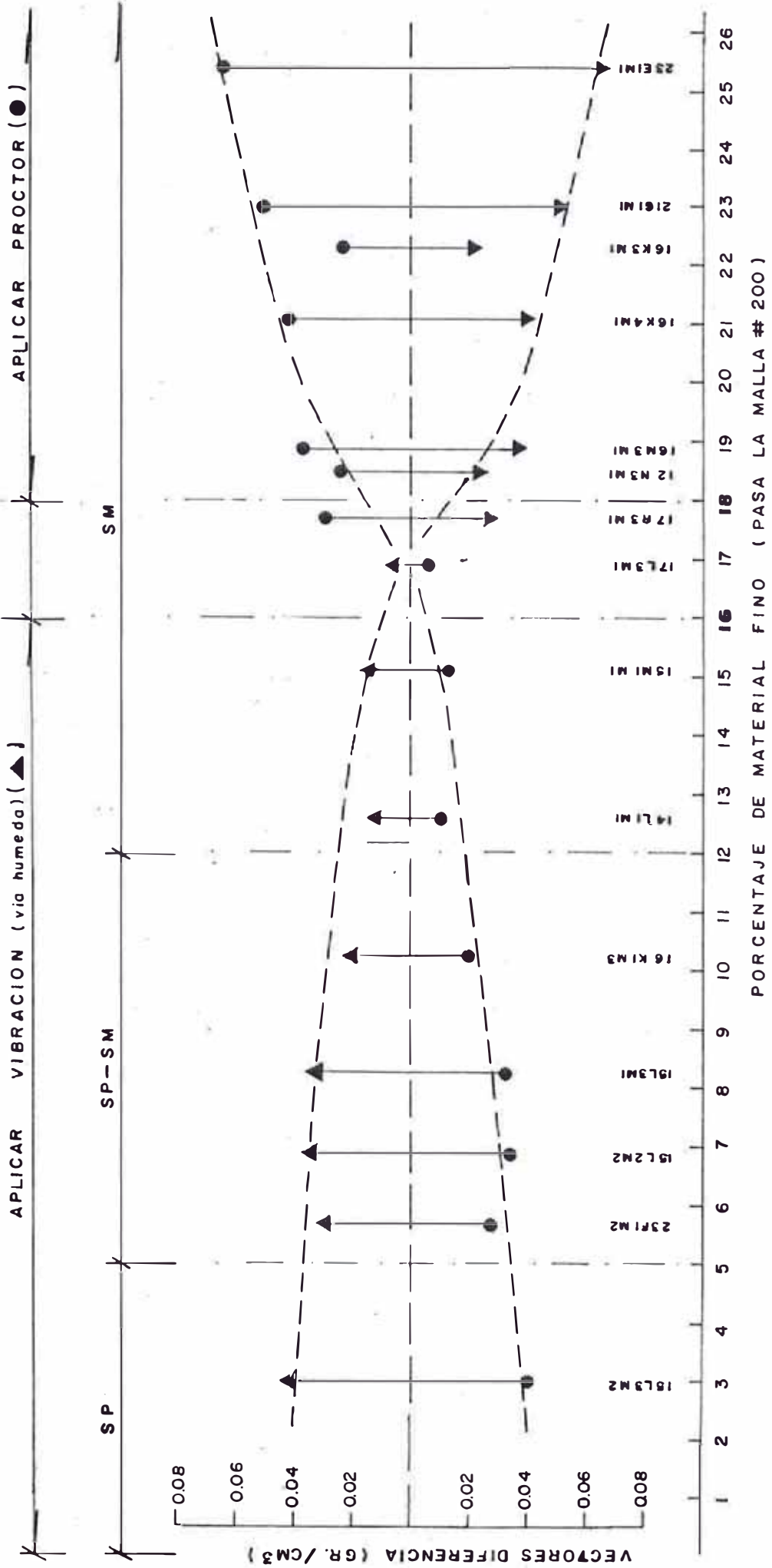
- PROCTOR
- ▲ VIBRACION - VIA HUMEDA
- △ VIBRACION - VIA SECA



( FIGURA 14A )

PORCENTAJE DE MATERIAL FINO ( PASA LA MALLA # 200 )

# CRITERIO PARA LA APLICACION DE LOS METODOS DE PROCTOR Y VIBRACION



( FIGURA 14B )

TABLA 5

EFECTO DE VIBRACION EN ARENAS									
CLASE DE ARENA	o/o F	FRECUENCIA CICLOS/ SEG.	TIEMPO OPTIMO DE VIBRACION (SEG)					TIEMPO MAXIMO	ASENT. PROMEDIO (mm.)
			1°CAPA	2°C	3°CAPA	4°CAPA	5°CAPA		
SP	5		30	75	90	105	120	120	17,2
SP - SM	(5-12)		30	30	60	75	75	75	14,8
SM	12		30	30	45	60	60	60	11,6

METODO DE VIBRACION (VIA HUMEDA)

DENSIDAD MAXIMA  
EN ARENAS

N O R M A

- PARA ARENAS CON o/of < 16%
- SATURAR LA ARENA
- LLENAR EL MOLDE EN 5 CAPAS IGUALES
- VIBRAR c/CAPA A 960 CICLOS/Mint.
- CON UN TIEMPO DE VIBRACION DE:

- 1 MINUTO/CAPA PARA LAS 2 PRIMERAS
- 2 MINUTOS/CAPA PARA LAS 3 ULTIMAS

Se optó por una altura de caída de 5 cm. del borde del molde que era lo mínimo necesario para permitir el llenado total, con esto se reemplazó la graduación a pulso de dicha altura por un tripode fabricado con estas medidas (Foto 10), logrando con esto un método standarizado y más eficaz (Fig. 11A).

### 7.2.2 ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL SUELO DE CIMENTACION

De acuerdo a la formación geológica del área, a los perfiles estratigráficos de suelos determinados por la exploración de campo (Figuras de columnas y perfiles del 16 al 18, Anexo) y al tipo de suelos, se ha evaluado las profundidades y los estados de compacidad tomando en consideración que éstos conjuntamente con las humedades naturales y el estado inicial de tensiones, constituyen las principales variables que determinan la resistencia y deformación a los niveles de cimentación estudiados. Es por esta razón, que la medida directa de la densidad relativa del suelo "in situ", es tan imprescindible para aplicar los métodos ya sea analíticos y/o empíricos para calcular la capacidad portante del suelo,

De acuerdo a esto se ha calculado el índice de Densidad por la relación:

$$DR = \frac{\gamma_d - \gamma_{min}}{\gamma_{max} - \gamma_{min}} \times \frac{\gamma_{max}}{\gamma_d}$$

Donde:

- $\gamma_d$  = Peso unitario natural seco.
- $\gamma_{min}$  = Peso unitario seco en el estado más flojo posible,
- $\gamma_{max}$  = Peso unitario seco en el estado más denso posible.

Con esto se determinan los parámetros necesarios para el cálculo de la estabilidad de las cimentaciones en cada pozo excavado, como se resume en el listado N° 3, Anexo.

Es muy importante destacar que no se ha detectado en ningún caso el nivel freático, verificado por numerosas perforaciones de compañías particulares en diferentes lugares que profundizan hasta los 15 ó 25 mts., por consiguiente, no existe ningún peligro potencial de licuefacción.

Una vez conocidos los estados de compacidad, procedemos a calcular las capacidades portantes a niveles factibles de cimentación. Para esto aplicamos la teoría de Terzaghi, donde la presión máxima ( $q_u$ ), que puede darse al cimiento por unidad de longitud sin provocar su falla es:

$$q_u = c N'_c + \gamma D_f N'_q + \frac{1}{2} \gamma B N'_\gamma$$

Donde los factores de capacidad de carga (elegidos para falla local) dependen sólo del valor de  $\phi$ , ángulo de fricción interna del suelo; el cual a su vez depende directamente de la naturaleza de los granos y de la compacidad relativa, ejerciendo una poderosa influencia sobre la capacidad de carga de los suelos friccionantes ( $c = 0$ ,  $\phi \neq 0$ ), ya que  $N'_\gamma$  y  $N'_q$  aumentan muy abruptamente cuando la compacidad llega a valores altos, para este tipo de suelos que corresponden a nuestro caso, la ecuación de carga última quedará reducida a:

$$q_u = \gamma D_f N'_q + \frac{1}{2} \gamma B N'_\gamma$$

Donde los factores de capacidad de carga debidos a la sobrecarga y al peso del suelo serán elegidos para la falla local.

Para calcular la capacidad de carga admisible o de trabajo ( $q_a$ ), podemos para nuestro caso aplicar un factor de seguridad (FS) que divida directamente a la carga última, para elegir este factor algo bajo (FS = 2) hemos tenido en cuenta que a los resultados obtenidos se les hará las consideraciones por sismo, con lo que:

$$q_a = \frac{q_u}{2}$$

Estos valores que capacidades de cargas admisibles que se muestran en la tabla 6 de zonificación, deben tomarse

como referenciales para compararlos con las sobrecargas promedios que las edificaciones aplican sobre los suelos dadas en la tabla 4 y que por sismos podrán incrementarse en un 30%, ya que Arequipa pertenece a la Zona 1 (R.N.C.).

Para efectos de dinámica de suelos sólo podemos asumir de una forma aproximada la profundidad del estrato que puede funcionar como base rocosa, ya que disponemos de una sola perforación profunda de 100 mts. en el cercado (Figura 19), donde infrayaciendo a la potente deposición de los suelos clásticos de origen aluvional pleistocénicos y recientes encontramos un estrato muy compacto de sillar blanco, que comparando con la estratigrafía geológica de la zona debe de corresponder al Volcánico Sencca con un grosor promedio que pasa los 150 mts. y al que se le asigna tentativamente una edad pliocena media a superior.






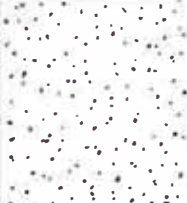





Estos tufo compactos y de cohesión apreciable afloran a la altura del Colegio Militar Francisco Bolognesi proporcionando aquí un excelente suelo de cimentación.

En el cercado como ya hemos dicho, este estrato lo encontramos a 80 mts., debajo de depósitos aluvionales de arenas, gravas y conglomerados cuyas compacidades relativas aumentan con la profundidad, como se puede apreciar en la perforación de la figura 20, realizada por una compañía particular, hasta una profundidad de 13 mts., donde el número de golpes de la Penetración Standar crece de 60 a 98 lo que corresponde a estados de compactidad compacta y muy compacta, de igual manera las densidades naturales también tienden a aumentar, con la profundidad, lo que determina un crecimiento de la velocidad de las ondas sísmicas.

De esto podemos decir que frente a un sismo severo, la respuesta del suelo en el cercado, esta condicionada a los

## COLUMNA ESTRATIGRAFICA (ALUVIALES)

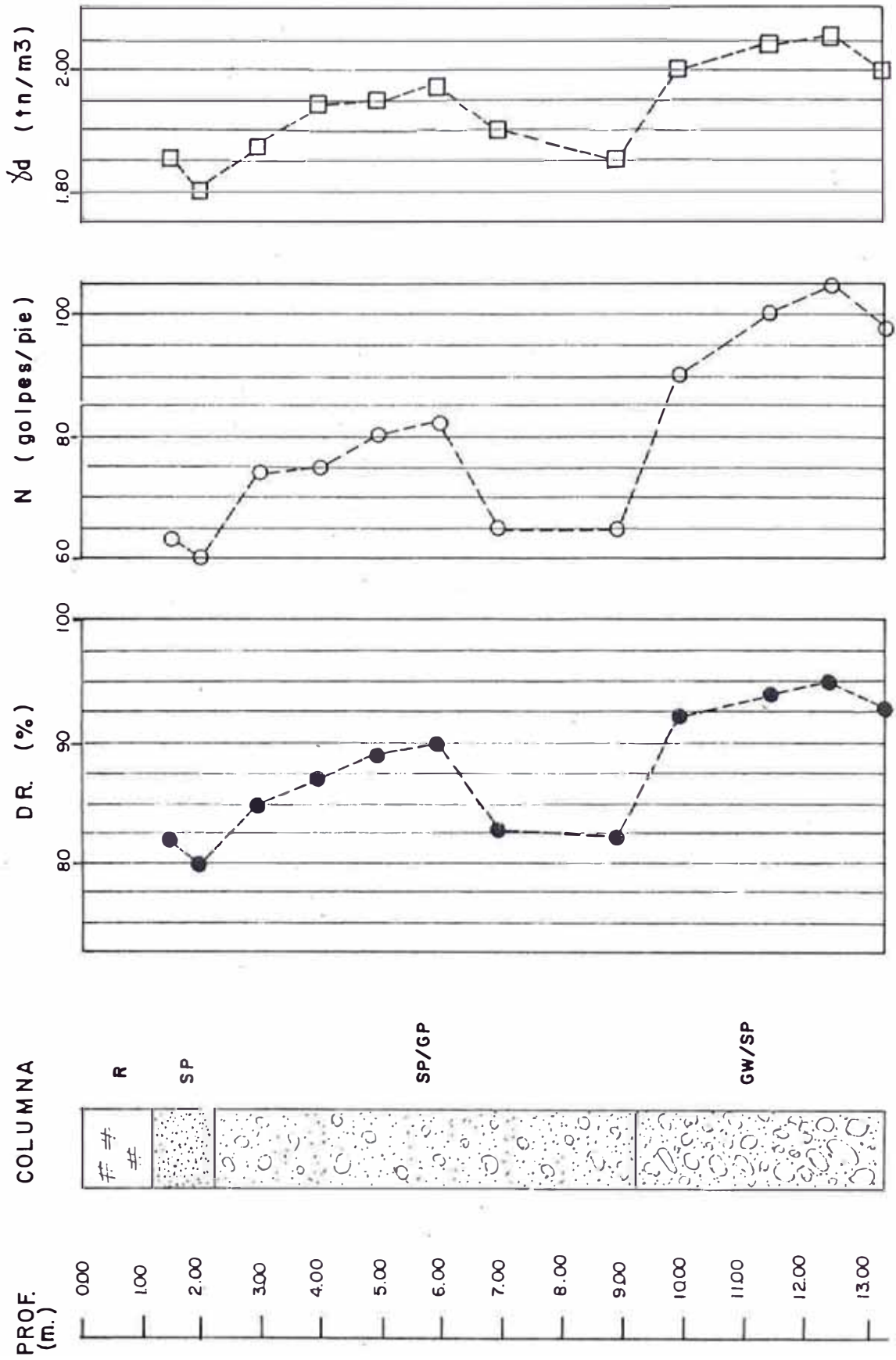
POZO HOSPITAL S.S.E. ( H. Dasa 1,960) - CERCADO

PROF. (m.)	COLUMNA	POT. (m.)	DESCRIPCION
2.00		2.00	Residuo arcilloso
13.00		11.00	Arena fina
27.00		14.00	Arena de grano grueso y cascojo
31.00		4.00	Arena gruesa y cantos rodados
46.00		15.00	Arena con cantos grandes ( un metro de diametro)
60.00		14.00	Arena de grano grueso
64.00		4.00	Arena gruesa y grava
72.00		8.00	Arena gruesa
75.00		3.00	Arena fina
80.00		5.00	Arena gruesa
100.00		20.00	Sillar blanco compacto

ESC. VERT. 1: 600



# ESTUDIO DE SUELOS EN LA PLAZA DE ARMAS ( CIMENTACION EDIFICIO )



( FIGURA 20 )

estados de compacidad del potente estrato de aluviales, pudiendo en algunos casos de suelos granulares sueltos producirse serias amplificaciones respecto a los estratos duros de consistencia rocosa.

### 7.3 ZONIFICACION DE SUELOS

Con todas las consideraciones que hemos tenido en cuenta para hacer el análisis de estabilidad, podemos proponer una primera zonificación de suelos, demarcando zonas dentro de las cuales tanto la estratigrafía como los estados de compacidad o resistencia de los puntos estudiados se han encontrado similares (ver lámina 4, Anexo).

A continuación, describiremos las principales características que determinan las zonas propuestas, cuyo resumen general se muestra en la tabla 6 de zonificación de suelos.

#### 7.3.1 AREA DEL CERCADO CENTRAL

Como ya lo hemos descrito, en el mapa de suelos desde el punto de vista geológico (Lámina 3) esta área está asentada sobre suelos clásticos aluvionales del cuaternario reciente, conformado por gravas, arenas y cenizas de origen volcánico.

La naturaleza de los materiales gruesos es de origen Igneo, en un menor porcentaje intrusivo, pero en su mayor parte volcánico o extrusivo tales como piedra pomez, lapilli, etc.

Respecto al estado de los materiales envolventes, los describimos por zonas de acuerdo a las pruebas y ensayos de mecánica de suelos realizados, y son como siguen:

ZONA Nº 1 De acuerdo a los pozos excavados y al perfil estratigráfico de la Av. Goyeneche (Figura 15, Anexo) concluimos.

De 0 a 0.70 ó 1.20; rellenos artificial limo, arenoso compacto, en el cual se podría cimentar estructuras de baja sobrecarga con las debidas precauciones.

Debajo de este se encuentra estratos de arena de mala graduación, acompañados en algunos casos con algo de grava semi angulosa hasta de 2" de tamaño máximo, con pesos específicos alrededor de 1.7 a 2.0 y porcentaje de finos de 1.4 a 3.8% para los SP y de 15% no plásticos para las SM, pesos unitarios de 1.55 a 1.72 gr/cm<sup>3</sup> y en estados ligeramente húmedos con compacidades en estado suelto correspondientes a densidades relativas de 26 a 32%, por lo que se deduce que este estrato tampoco es aconsejable para cimentar.

Conforme se profundiza, el porcentaje de grava, crece rápidamente, hasta que a profundidades de 1.80 a 2.00 mts. como máximo, se definen las gravas de mala a buena graduación, semi angulosa, duras, con pesos específicos de 2 a 2.25 y densidades naturales de 1.9 a 2.31 gr/cm<sup>3</sup> envueltas en arenas pobremente graduadas limpias con 1.3 a 3.7% de finos, de estado seco a ligeramente húmedo y en estados compactos y muy compactos correspondientes a densidades relativas de 71 a 98%. Por lo que se elige este estrato para cimentar con seguridad.

ZONA 1	}	Df = De 1.2 a 1.8 mts.
GRAVAS		DR = 71 a 98%

ZONA Nº 2 : Esta zona es algo curiosa, pues en el horizonte superior hasta los 0,90 a 1.50 mts. de profundidad, se encuentran rellenos de tierra vegetal con arenas

limosas bastante cimentadas, secos a ligermente húmedas y evaluándolas con estados de medianamente compactas a compactas, evaluación hecha en base a la resistencia, a la excavación, observadas en las columnas descritas pues en estos estratos al parecer artificiales, no realizabamos pruebas de densidades.

Sirviendo de base a estos rellenos, se encuentran bolsones de arena limpia pobremente graduadas, con porcentajes de grava muy bajos de 3 a 19%, de origen volcánico y de pesos específicos de 1 a 1.7, - estas arenas presentan humedades de hasta 11.2%, - los pesos unitarios son bastante bajos de 1.09 a 1.60, al igual que los estados de compacidad sueltos con densidades relativas de 13 a 41% hasta profundidades investigadas de 3.50 mts. por lo cual cimentar sobre estas arenas no es nada recomendable.

Para dar una conclusión reforzamos nuestra decisión con los daños intermedios observados en esta área recomendando construcciones de no más de 1 piso, cimentadas de 0.80 a 1.00, en caso de querer cimentar estructuras de mayor sobrecarga, se debe exigir un estudio de suelo más detallado, el cual encontrará un estrato cimentable posiblemente a profundidades mayores a los 3 metros.

ZONA 2	{	Df =	0,80 - 1,00
ARENAS		PR =	COMPACTA

ZONA Nº 3 : Desde la superficie hasta 1.80 a 2.00 se encuentra un relleno artificial no consolidado, de arena y escombros de construcción, el cual es necesario descontar en el nivel de desplante.

Debajo de estos rellenos encontramos arenas pobremente graduadas con densidades naturales de 1.62 y 1.63 gr/cm<sup>3</sup> ligermente húmedas, con porcentaje de finos de origen volcánico (ceniza) de 8.7 a 16.6% no plásticos. A profundidades variables se detectan lentes de grava empacadas en arena de baja graduación y de origen igneo con pesos específicos del orden de 2.5. Todo este estrato se presenta en estado medianamente compacto, hasta una profundidad investigada de aproximadamente 3.00 mts., con densidades relativas de 48 a 63%, por lo que concluimos que podemos usar este estrato para cimentar, pero con determinadas precauciones, pues la resistencia que presta no es muy segura (De 1 a 1.7 Kgr/cm<sup>2</sup>.), sobre todo hay que cuidar no se incremente el contenido de humedad,

ZONA 3	}	Df = 1.50 - 2.00 mts.
ARENAS CON PAQUETES DE GRAVAS		DR = 48 a 63%

ZONA Nº 4 : En base al perfil estratigráfico de la calle San Camilo y columnas adicionales, se puede ver que en la parte superficial hasta 1.5 a 1.8 mts. se encuentran rellenos artificiales sueltos de arena y restos de cimentaciones que van aumentando en profundidad desde la calle San Juan de Dios hasta la calle Pizarro, donde llega a los 2 mts en las partes más delgadas debajo de este se encuentran arenas de graduación mala a buena, ligermente húmedas en estado suelto.

A partir de los 2 mts. de profundidad se encuentran arenas gravosas limpias de mala graduación a buena, con 42 a 48% de grava de peso específico de 2.0 y

2.1 estas arenas son ligeramente húmedas (3.0 a 7.8%), densidades naturales altas de 1.81 a 1.87 - gr/cm<sup>3</sup> y estados de densidad compactos y muy compactos, con densidades relativas de 76 a 92%.

En una excavación hecha en Alto de la Luna y San Juan de Dios, a 2.10 mts. se encuentra arena limosa sin grava, con 12.7% de finos no plásticos, ligeramente húmeda y de densidad natural alta (1.76 gr/cm<sup>3</sup>), al igual que su estado de densidad compacto - con 80% de densidad relativa, por lo cual se le involucra dentro la zona 4 y se deduce que conforme se avanza hacia la zona 3, estrato de arenas se hace más potente.

ZONA 4                    { Df = 2.00  
 ARENAS y GRAVAS        { DR = 76 a 92%

#### ZONA Nº 5

De la superficie hasta 1.00 a 1.60 mts. de profundidad se encuentran rellenos de tierra vegetal, arenolimoso con algunos vestigios de cimentaciones antiguas, en un estado medianamente compacto.

Debajo de este relleno se encuentran gravas pobremente graduadas empacadas con buen porcentaje de arenas (de 30 a 40%) de la misma graduación, apareciendo en casos estratos de esta sin presencia de grava, con material fino de 1.0 a 19.2%, no plástico y ligeramente húmedo. La compactación que arrojan estas gravas es del orden del 56 a 65% de densidad relativa, y las arenas de 41 a 65%, o sea dentro de los rangos altos de compactación mediana, tendiendo a crecer conforme se profundiza, por lo que creemos se puede cimentar con seguridad a partir de 1.70 mts.

$$\begin{array}{l} \text{ZONA 5} \\ \text{GRAVAS y ARENAS} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} D_f = 1.50 \text{ a } 1.70 \\ DR = 41 \text{ a } 65\% \end{array} \right.$$

ZONA N° 6 : Superficialmente hasta 1.00 ó 1.50 de profundidad - se encuentran rellenos de limo arcillosos, mezclados con piedras y desmonte.

Debajo de estos rellenos, se encuentran gravas y arenas predominando las arenas conforme se acercan al río, como se observan en las columnas visuales - de la calle La Merced y Sucre, en contraposición con las columnas de Jerusalén o Rivero, donde predominan los estratos de gravas; al igual que en la zona 5 estas gravas están empacadas en arena de 30 a 40% de graduación pobre y limpia de materiales finos de 1.1 a 3.0%, ligeramente húmedos (4.2 a 5.1%) y compacidades de 70 a 99% de densidad relativa, las arenas que se encuentran a profundidades mayores a 2.15 mts., por lo general son compactas a muy compactas con densidades relativas de 80 a 96% (al igual que las gravas) hasta una profundidad investigada de 4.00 mts. salvo algunos lentes de arena SP ó SP-SM en estado de mediana compacidad, que son de origen volcánico y se presentan a cualquier profundidad, siendo fáciles de reconocerlos, por su aspecto marrón blanquesino y su bajo peso específico.

Concluimos pues, que la zona 6 es similar a la zona 5, con la diferencia que aquí la compacidad de los materiales aumenta más rápidamente con la profundidad.

$$\begin{array}{l} \text{ZONA 6} \\ \text{GRAVAS} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} D_f = 1.75 \text{ a } 2.00 \\ DR = 70 \text{ a } 96\% \end{array} \right.$$

ZONA N° 7 Esta zona es diferente a las demás, el tipo y estado

del suelo no es un factor negativo, pero al analizar el origen de los daños severos en estos lugares se detectó rápidamente otro factor que hay que tomar muy en cuenta y es el topográfico, se puede ver claramente, que en esta franja, la pendiente - sí constituye un factor negativo para las viviendas cimentadas en ella. La explicación de los daños ya se dió en el punto 3 del capítulo V. (Ver fotos 11 y 12)

ZONA 7 : FUERTES PENDIENTES

ZONA Nº 8 : Esta zona esta ubicada en la continuación de la franja de alta pendiente (Zona 7), pero con la diferencia de que por efectos de construcción del puente Grau, esta zona ha sido levantada aproximadamente de la cota 2,315 a la 2,330 correspondiente a la Av. Bolognesi (Ver Foto 14) lo que determina a esta zona por sus profundos rellenos artificiales, los cuales no han sido debidamente compactados y ahora sirven de cimiento a las viviendas - ubicadas en esta. (Fotos 15 y 16)

ZONA 8 : RELLENOS ARTIFICIALES

### 7.3.2 AREA DE ALTO SELVA ALEGRE

ZONA Nº 9 : Los suelos de esta zona, a diferencia de los suelos del cercado, presentan una estratigrafía homogénea, geológicamente estos suelos son de origen piroclásticos, constituidos por detritus del tipo volcánico explosivo, que han sido redepositados por efectos erosivos.

Analizándolos en el laboratorio se deducen que se tratan de suelos no cohesivos, de arenas limosas color marrón rosado, mal graduadas, con 14 a 30% de material fino no plástico y cenizas de origen volcá



**TOPOGRAFIA CON ALTA PENDIENTE**  
**( ZONA 7 )**

**VIVIENDAS CIMENTADAS EN TERRENOS  
MUY INCLINADOS.**

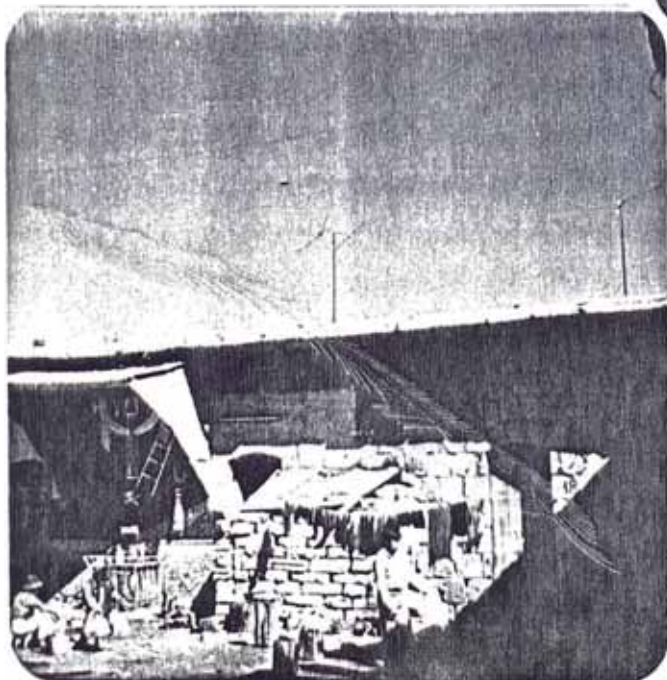
**( 11 )**



**DAÑOS EN LAS VIVIENDAS**

**ACERCAMIENTO DE UNA FALLA PRODUCI  
DA POR CONCENTRACION DE ESFUERZOS  
EN EL MURO MAS CORTO.**

**( 12 )**



**SUPERPOSICION DE CONDICIONES  
NEGATIVAS (ZONA DAÑOS ALTOS)**

**VIVIENDAS ANTIGUAS ( 50 - 100 años ), MURQS  
MUY ALTOS (  $\approx 4.00$  m. ), TECHOS DE RIELES  
MUY PESADOS ( S/C =  $500$  K/m<sup>2</sup> ), CIMENTA-  
DAS SOBRE SUELOS ARENOSOS, DE MEDIA  
NA COMPACIDAD ( DR. = 48 - 63 %, ZONA 3 ).**

**ZONA QUE REQUIERE INMEDIATA REMODE  
LACION URBANA.**

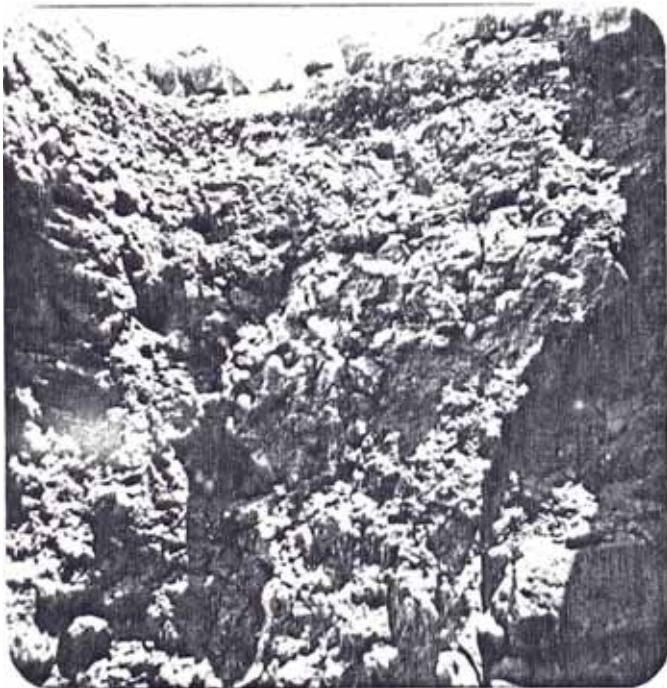
**( 13 )**

## RELLENOS ARTIFICIALES

(ZONA 8)

OBSERVESE LA POTENCIA DEL RELLENO ARTIFICIAL HECHO ANTIGUAMENTE PARA NIVELAR ALTURAS, EN LA CONSTRUCCION DE UN PUNTE.

(14)



(15)

### EXCAVACION EN LA ZONA DE RELLENO

SE PUEDE NOTAR LO HETEROGENEO DE LOS MATERIALES Y LA DIFERENCIA DE ESTADOS DE COMPACIDAD Y HUMEDAD ENTRE ESTOS.



(16)

### VIVIENDA AL LADO DE LA EXCAVACION

VIVIENDA DE MEDIANA ANTIGUEDAD, CON BUEN SISTEMA CONSTRUCTIVO Y ALTA DENSIDAD DE MUROS EN AMBOS SENTIDOS. SEVERAMENTE DAÑADA.

nico de muy bajo peso específico (1.5 a 2.0), con límites líquidos entre 20 y 21% y alrededor de 20 a 30% de grava frágil y liviana de bajo peso específico (1.2 a 1.5) y gran capacidad de absorción, lo cual comprueba el origen volcánico de esta zona.

Por su ligera humedad ( % W = 3.4 a 8.9 ) y sus altas compacidades sobre todo en la parte baja de 86 a 98% de densidad relativa, su aptitud para la cimentación es buena.

Se recomienda en esta zona cuidar de canalizar las aguas de lluvia, ya que las calles presentan tramos sin asfaltar y el estrato de SM tiende a retener la humedad por la propiedad de ser semi-permeable modificando dicho contenido, lo cual haría peligrar las buenas condiciones que presenta en estado seco.

Para el cálculo de las densidades máximas se recomienda el método del Proctor Modificado, procedimiento A, ya que en general sus porcentajes de material fino exceden al 18%.

ZONA 9	}	Df = 0.80 - 1.20
ARENAS LIMOSAS		DR = 86 a 98%

### 7.3.3 AREA DE MARIANO MELGAR

ZONA Nº 10: El distrito de Mariano Melgar, como ya hemos dicho, presenta suelos clásticos de origen aluvial, formado por gravas y arenas, predominando las primeras en las partes altas y siendo más frecuentes las arenas según se va bajando, como se ve en el perfil

de la calle Bolívar, esto obedece geológicamente a que las partes altas como en la Urb. Jerusalén, Mariano Bustamante, etc. y partes aledañas a las calles Solar y Atenas, están sobre afloramientos de rocas Andesíticas o sobre zonas de contacto. Los pesos específicos de estas gravas varían entre 2 a 2.5 encontrándose en algunas partes, mezclados con gravas volcánicas livianas de 1.5 a 2.0 de pesos específicos y empacadas con un 30% de arena de graduación pobre y limpia de materiales finos, las compacidades de estas gravas van de compacto a muy compactos, con 68 a 92% de densidades relativas, - estas partes altas casi no tienen rellenos artificiales.

ZONA 10	}	Df = 0.50 - 0.80
GRAVAS		DR = 68 a 92%

ZONA Nº 11: Esta zona corresponde, a las partes bajas del distrito, donde predominan las arenas acompañadas de gravas en un 20 a 45%, las características de estos materiales son las mismas que la zona 10, salvo que la compacidad disminuye en algo y conforme se baja se van encontrando rellenos artificiales - hasta de 1.00 mt. de profundidad,

ZONA 11	}	Df = 1.00
ARENAS CON GRAVA		DR = 45 a 80%

#### 7.3.4 AREA DEL CERCADO SUR (CAMINO A TINGO)

ZONA Nº 12: A partir de la variante de Uchumayo y a lo largo de la Av. Alfonso Ugarte hacia Tingo, se extiende - una franja de arenas arcillosas y limosas, con casi ausencia de grava (3 a 12%) y predominancia de materiales finos de 13 a 50% de baja plasticidad y -

y límites líquidos entre 19 y 24%; las humedades son considerables y la mayoría de pozos contienen de 13 a 21% de agua, esto es debido a la cercanía del río y a la característica de semi permeabilidad de las SM que retienen la humedad, esto conjuntamente con los estados de compacidad de media a suelta con densidades relativas de 20 a 58%, hacen que este estrato sea nada aconsejable, para cimentar.

Debajo de estas arenas limosas, en 2 pozos se han detectado gravas compactas a profundidades de 2,00 a 2.50, acompañadas con bolones de 50 a 60 cm., por lo que se ve en el pozo 20 H1 parece ser que este estrato de grava y bolones que viene desde el cerro se "sumerge" y se le puede encontrar creemos a profundidades mayores a los 3.00 mts. a partir del nivel de la pista.

ZONA 12 : Df > 3.00 mts. (a nivel de la Av. Ugarte)  
 0 - 3.00 = ARENAS LIMOSAS CON DR DE 20 a 58%  
 > 3.00 = GRAVAS Y BOLONES, COMPACTO

ZONA N° 13: Constituida por derrames de rocas ígneas ya sean intrusivas como son los suelos de Villa de Sachaca, poblado del Cerro La Desaparecida, San Juan de Dios y Señor de los Milagros, cimentadas sobre gramodioritas, dioritas y monzonitas, cuyas características ya se describieron (Capítulo VII); o por rocas ígneas extrusivas como en Cerro Juli, Campo Ferial, parte alta de Mariano Melgar, cimentados sobre derrames andesíticos o por último sobre lodo volcánico como es el caso de las urbanizaciones Salaverry, San Martín de la Apacheta, 3 de Octubre y Simón Bolívar. (Fotos del 17 al 23).

**AFLORACIONES ROCOSAS (ZONA 13)**



**VISTA PANORAMICA DE UNA ZONA QUE PRESENTA AFLORACIONES DE ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS.  
( 17 )**



**ACERCAMIENTO DE LAS VIVIENDAS CIMENTADAS EN ESTA ZONA .  
( 18 )**



**( 19 )**

**VIVIENDA TIPO A , MUY ANTIGUA, SISTEMA CONSTRUCTIVO ELEMENTAL . NO PRESENTA DAÑOS .**



**( 20 )**

**VIVIENDA TIPO B , OBSERVESE LA FECHA DE CONSTRUCCION SOBRE EL DINTEL (1,879) . NO PRESENTA DAÑOS .**

**VILLA DE SACHACA**

( ZONA 13 )

ZONA CON AFLORACIONES ROCOSAS ( DIORITAS Y MONZONITAS )

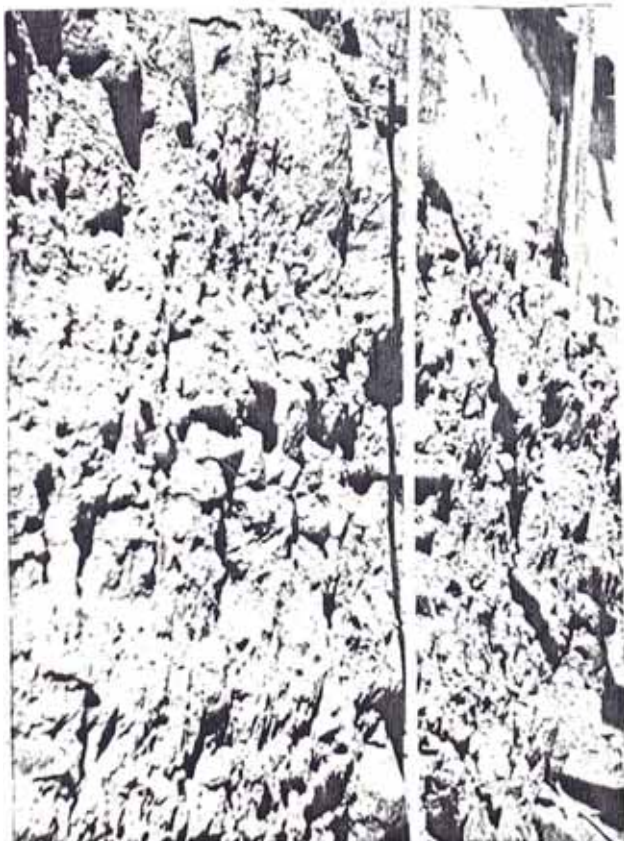
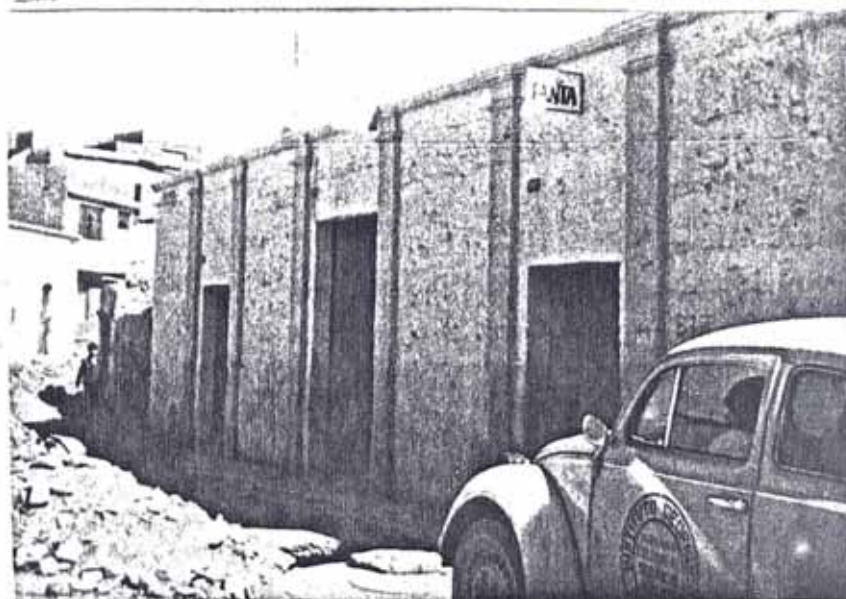
( 21 )



**VIVIENDAS CENTENARIAS**

VIVIENDAS CON MAS DE 100 ANOS DE ANTIGUEDAD, HA RESISTIDO MUCHOS SISMS Y SE ENCUENTRAN INTACTAS .

( 22 )



**SUELO MUY COMPACTO**

BUEN SUELO DE CIMENTACION, ESTRATO SUPERFICIAL MUY CON SOLIDADO , DEBAJO LECHO ROCO SO.



( 23 )

Las aptitudes de estos suelos para efectos de cimentación son muy positivas por su gran resistencia, - con el sólo cuidado de remover y limpiar las fracturas en las partes superficiales que han sido alteradas por factores climáticos u orgánicos y rellenar dichas partes con morteros pobres de cemento.

ZONA 13	}	Df = 0.40 a 0.50 mts.
ROCAS IGNEAS		DR = 100%

7.3.5 AREA DE MIRAFLORES

ZONA 14 Esta área al igual que la Zona 7, ha sido determinada por la severidad de daños observado a lo largo de la Torrentera de San Lázaro y sobre todo a la altura de Chapi-Chico, en donde debido a los rellenos artificiales de la parte superficial, al tipo de suelo friccional del talud y al peligro de cambio brusco de humedades, hace que sea una zona en donde se debe prohibir la construcción de viviendas hasta determinada distancia de la torrentera y tomar precauciones respecto a la canalización del cauce en tiempo de lluvias.

ZONA 14    INESTABILIDAD DE TALUDES

7.4 CONCLUSIONES

El área urbana como ya habíamos dicho posee una geología local muy variada en lo que corresponde al terciario y cuaternario presentando depósitos de suelos de diferente composición y estado, tal es así que lo hemos agrupado en suelos constituidos por rocas igneas, presentándose a los alrededores de la ciudad, - suelos volcánicos, presentándose en la zona norte del cercado y parte de los distritos de Cerro Colorado y Paucarpata; y por último suelos elásticos, sirviendo de base a la mayor parte del casco urbano.



( T A B L A 6 )

Z O N I F I C A C I O N D E S U E L O S - A R E Q U I P A												
ZONAS	ZONA 1			ZONA 2			ZONA 3			ZONA 4		
	Df	0.80	1.50	2.00	1.50	1.80	2.50	1.00	1.50	2.10	1.00	1.60
B		0.45	0.45		0.45	0.45		0.60	0.60		0.60	0.60
δd	-	1.65	1.97	-	1.40	1.50	-	1.62	1.70	-	1.70	1.76
φ	-	35	38	-	30	28	-	32	31	-	32	36
Clase Suelo	Relleno Tierra Vegetal	Arenas y Gravas	Arenas con Grava	Relleno Tierra Vegetal	Arenas	Arenas	Relleno y Desmonte	Arenas	Arenas e Inclusio. de Gravas	Relleno y Desmonte	Arenas	Arenas Gramosæ
Dr(pm)	Compacto	40	86	Compacto	33	22	Suelto	51	48	Suelto	50	76
qa	-	1.8	3.6	-	1.0	1.3	-	1.4	1.7	-	1.5	2.9
Tipo Suelo R.N.C.		II *	I		III	III		II *	II *		II *	II

II \* Suelos entre II y III

( T A B L A 6 )

Z O N I F I C A C I O N D E S U E L O S - A R E Q U I P A												
ZONAS	ZONA 5				ZONA 6				ZONA 7	ZONA 8		
Df	1.00	1.70	2.50	1.50	1.75	2.00	3.00					
B		0.80	0.80		0.80	0.80	0.80					
$\Delta d$	-	1.63	1.65	-	1.70	1.80	1.81					
$\sigma$	-	33	34	-	33	36	38					
Clase Suelo	Rellenos y Desmonte	Gravas Arenosas	Gravas Arenosas	Relleno y Desmonte	Arenas	Gravas	Gravas					
Dr( $\bar{P}_m$ )	Suelto	56	60	Suelto	54	74	87	Medianam.Comp.	Suelta			
qa	-	1.7	2.7	-	2.0	3.0	5.0	-	-			
Tipo Suelo R.N.C.		II	II		II *	I	I		II	III		

II \* Suelos entre II y III

( T A B L A 6 )

Z O N I F I C A C I O N D E S U E L O S - A R E Q U I P A													
ZONAS	ZONA 9		ZONA 10		ZONA 11		ZONA 12		ZONA 13	ZONA 14			
Df	1.00	1.50	1.00	2.00	1.00	2.00	1.00	2.00	0.50	-			
B	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	-			
Xd	1.59	1.59	1.73	1.73	1.70	1.70	1.33	1.33	> 2.00	≈ 1.60			
Ø	38	38	40	40	35	35	31	31	-	359			
Clase Suelo	Arenas Limosas de Origen Volcánico		Gravas con Arenas Limpias		Arenas Gravosas		Arenas Limosas Húmedas		Rocas Volcánicas Igneas		Arenas y Gravos		
	Dr	84	84	85	85	67	67	40	40	100	Median. Comp		
qa	1.6	2.3	2.1	3.8	1.3	2.4	1.0	1.3	Muy Alta	-			
Tipo R.N.C.	II	II	I	I	II	II	III	III	I	III	III		

Cuando se trata de suelos friccionantes, como es el caso de la mayoría de suelos de Arequipa compuestos por arenas y gravas, es muy importante conocer su estado de compactación, para esto las pruebas más recomendables son los ensayos "in situ" de Penetración Standard o de Densidad Relativa, el primero goza de una tremenda aplicación muy práctica tanto en mecánica y dinámica de suelo, pero tiene el inconveniente de ser bastante costoso; el segundo que es el que hemos empleado es más económico y recomendable para ensayos de poca profundidad que para casos como el nuestro de viviendas de baja sobrecarga es suficiente, pero existe el problema de su normalización pues el resultado que se obtiene depende de la eficiencia del equipo empleado para llegar a las densidades límite ya sean máximas o mínimas.

Vista la importancia del índice de densidad relativa, proponemos un método de vibración para arenas limpias con un contenido límite de finos, que nos proporciona densidades máximas más altas que las obtenidas por otros métodos practicados, resultados que se pueden mejorar pensamos con un equipo vibratorio de mayor frecuencia, así mismo recomendamos la práctica del choque de arena a altura constante mediante un tripode en la obtención de la densidad mínima.

Del análisis de estabilidad de cimentaciones en base a cerca de 80 excavaciones dentro del área urbana, se han propuesto microzonas de suelos en donde se dan algunos parámetros promedio que caracterizan a cada una de ellas, por lo que sólo recomendamos tomarlos como referenciales ya que se han calculado con el fin de estudiar la interacción suelo-estructura, lo que nos ha permitido detectar la tremenda influencia que el factor suelo ejerce en la respuesta sísmica de las estructuras.

Dentro de todas las condiciones locales que influyen en el comportamiento sísmico de una estructura, se ha visto que

el factor suelo es el más importante, ya que este puede modificar radicalmente el movimiento sísmico amplificandolo cuando se trata de suelos sueltos o blandos o atenuandolo en caso contrario; en nuestro estudio hemos podido comprobar estos dos casos, tal es así que existen zonas de la ciudad donde a pesar de tenerse condiciones adversas, tales como viviendas muy antiguas, con técnicas constructivas no muy buenas y localizadas en cerros de fuerte pendiente los daños causados por los sismos han sido leves, debido directamente al suelo de consistencia muy dura o a cimentaciones sobre afloramientos rocosos, se ha visto también casos contrarios de viviendas de mediana antigüedad, de mejor técnica constructiva y sobre zonas planas, donde los daños son de consideración y esto debido a la utilización de suelos sueltos o de rellenos artificiales mal compactados y no recomendables para cimentar.

## C A P I T U L O VIII

### INTERPRETACION DE LAS CAUSAS DE LOS DAÑOS ESTRUCTURALES

#### 8.1 INTERPRETACION POR ZONAS

Con lo estudiado en los capítulos que corresponden a aspectos sismológicos, geología y geomorfología, condiciones estructurales de las edificaciones como son la técnica constructiva y la antigüedad, y condiciones de sitio como son la topografía, el suelo de cimentación y la geología local; podemos concluir con la interpretación de los daños causados en las viviendas.

Para esto nos referiremos a la distribución de daños en las viviendas tipo B que se mostró en el capítulo V y daremos la explicación del origen de estos daños solamente nombrando los factores causantes ya explicados. (Figuras 21, 22, 23 y 24).

##### 8.1.1 ZONAS CON COLAPSO PARCIAL (3 + a 4)

Viviendas con grandes grietas y desplazamientos, algunas con caída parcial de muros y techos.

Estos daños se pueden ver en la zona aledaña al mercado de San Camilo, donde existen viviendas antiguas de 70 a 100 años, con técnicas constructivas deficientes por sus alturas excesivas y sus techos de rieles muy pesados, aparte de haber sido modificadas a través del tiempo, debido a la trigurización característica de esta zona y cimentadas a una profundidad promedio de 1.50 mts. sobre rellenos artificiales sueltos o arenas de compacidad media con bajas capacidades portantes correspondientes a las Zonas 3 y 4 de suelos (Ver Foto 13). Esta zona actualmente requiere una urgente remodelación urbana.

Daños de igual severidad se han producido en el barrio de Antiquilla a lo largo de la Calle Beaterio, y en la parte alta del distrito de Yanahuara, esta última aparte de la mala técnica constructiva y los suelos no muy buenos (arena limosa de mediana compacidad) presenta fuertes pendientes.

#### 8.1.2. ZONAS CON DAÑOS SEVEROS (2+ a 3)

Viviendas con fuertes grietas que pasan el muro con espesores entre  $\frac{1}{2}$  cm a 2. cm.

Estos daños se observan en las partes del centro, al rededor de la Iglesia de Santo Domingo y a lo largo de la Av. - Muñoz Najar, los tipos de vivienda aquí construídas son las mismas que en las zonas de colapso parcial y con las mismas antigüedades, por lo que concluimos que la ligera atenuación, de los daños se debe a la mejoría del suelo de cimentación lo que podemos ver claramente en la Figura 23A, donde en la Zona 5 de suelos, tanto la compacidad como la capacidad portante se incrementan debido al acercamiento de los estratos de grava compacta a los niveles de cimentación.

Los mismos grados de daños se observan sobre la Zona 8 de suelos, en viviendas muy antiguas y cimentadas sobre rellenos artificiales sueltos y que no han llegado al colapso debido

a sus altas densidades de muros, que les permiten seguir en pie aún con sus fuertes daños.

También presentan daños severos las viviendas que se encuentran cimentadas en la Zona 7 con fuertes pendientes en el terreno originando concentraciones de esfuerzos en algunos de sus muros, estos daños continúan hacia el distrito de Yanahuara en viviendas muy antiguas de bóvedas y otras con techos de rieles, construídas sobre suelos de arena limosa de mediana compacidad.

De igual forma en el distrito de Miraflores, las viviendas que se encuentran localizadas a lo largo de la torrentera de San Lázaro a la altura de Chapi Chico, que a pesar de presentar construcciones ligeras y recientes, debido a su cercanía a la quebrada y a los rellenos artificiales que producen inestabilidad en el suelo, han sufrido severos daños.

### 8.1.3 ZONAS CON DAÑOS MODERADOS (1+ a 2)

Viviendas con agrietamientos que no llegan a traspasar el muro, de espesores menores a 5 mm, por lo general sólo fisuramiento en los muros.

Estos daños se reflejan en la mayoría de viviendas medianamente antiguas y recientes con características de construcción ligera y densidad de muros dentro de los rangos requeridos y en las cuales las condiciones locales no han ejercido mayor influencia por presentar características neutrales, vale decir condiciones que ni amplifican los daños ni los atenúan, sino daños que corresponden a la intensidad promedio del sismo.

Estas zonas se encuentran por ejemplo en la parte baja del distrito de Mariano Melgar, sobre arenas gravosas compactas (Zona 11), con capacidades portantes aceptables para el ti-



po de edificaciones ligeras (techos de losas delgadas) y de mediana antigüedad que allí predominan y donde no existen problemas de topografía ni de geología local, ya que se debe encontrar el estrato duro de Andesita a pocos metros de profundidad (lámina 3), lo mismo sucede entre el Distrito de Miraflores y el Cercado Norte.

Daños moderados también se observan en la zona comprendida entre el Colegio La Salle, el Estadio Melgar y la Universidad, en donde es interesante ver que sobre la bolsonada de arena suelta que se detecta a partir de 1,80 mt. de profundidad en la Zona 2 de suelos; no se observa ningún incremento de daños en las viviendas ligeras, más no así en las edificaciones de mayor sobrecarga como el Hospital Goyeneche y la Facultad de Arquitectura que si han sufrido daños mayores, comentando también de paso que el Coliseo Arequipa, situado en esta área durante su construcción tuvo que ser disminuído en sobrecarga, para lo cual se cambio el techo de concreto por una cobertura ligera debido a las malas condiciones del suelo.

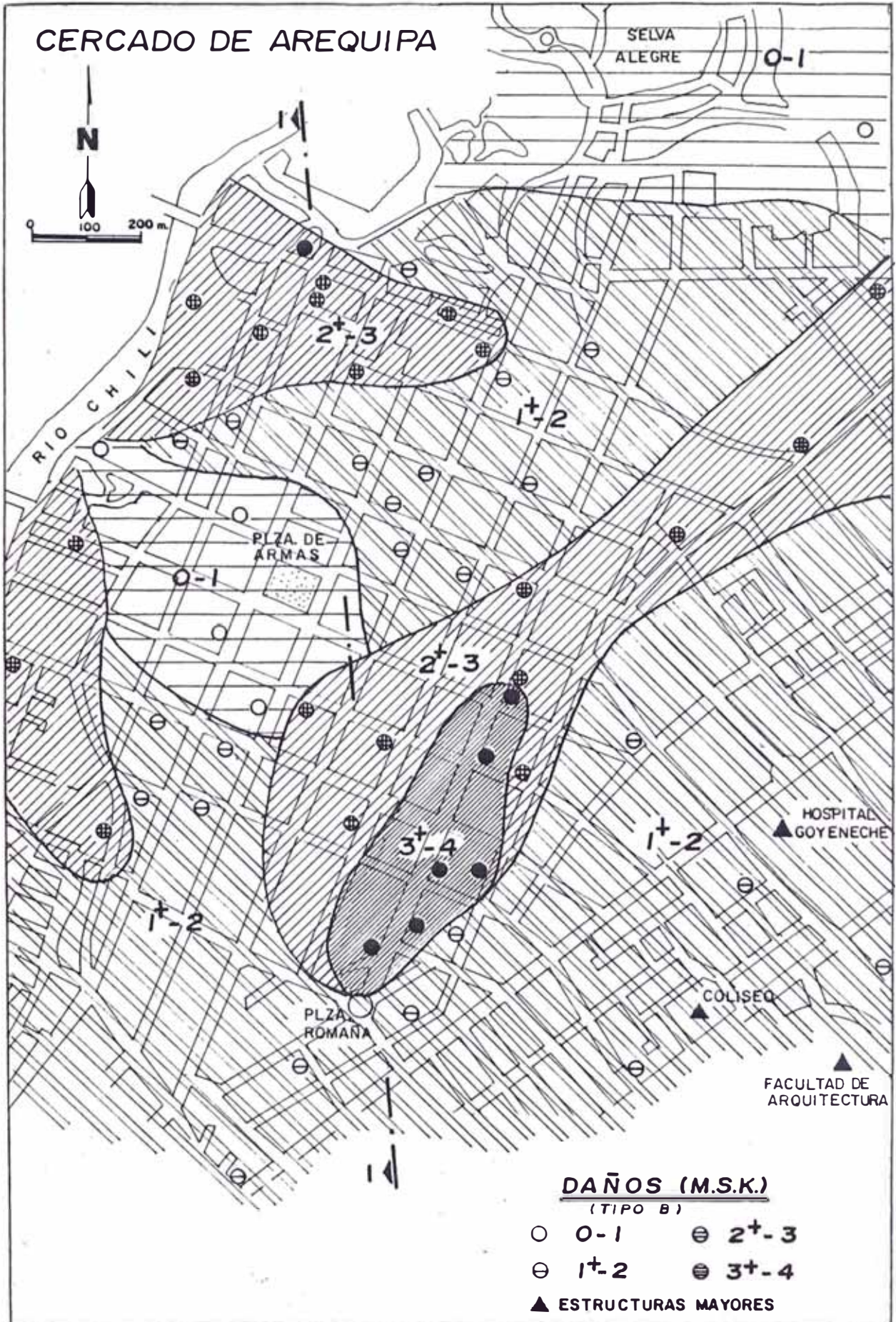
El daño moderado en estas viviendas se debe al comportamiento del estrato superficial compacto en el que se han cimentado (comparar en tablas 4 y 6, Zona 2 y TIPOS B-3 y B-4).

#### 8.1.4 ZONAS CON DAÑOS LEVES O SIN DAÑO (0-1)

Viviendas con fisuras superficiales en los muros o revestimientos, de espesores menores a los 2mm1, o caída de trozos del revestimiento.

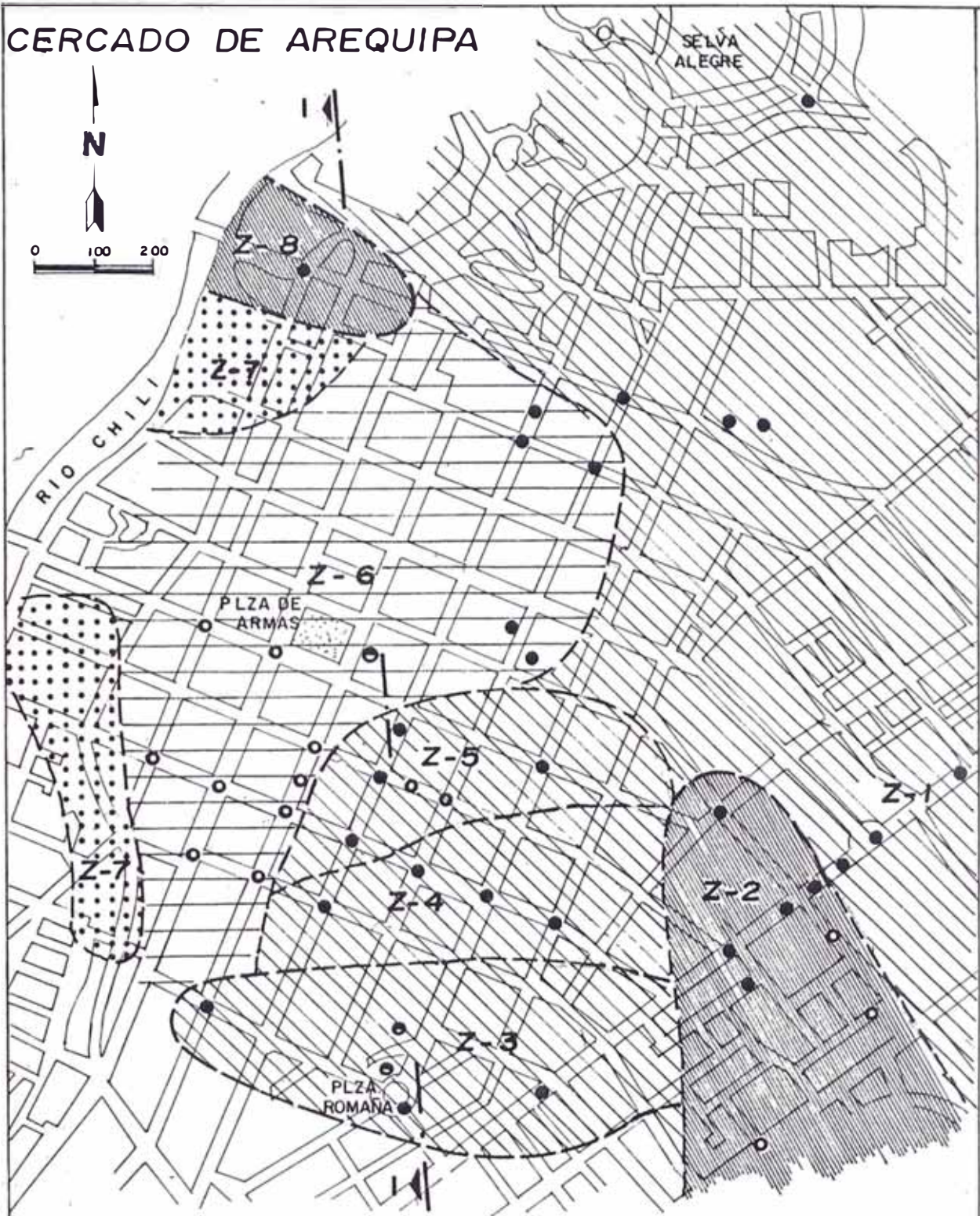
Incluimos aquí la Zona del Centro, que rodea la Plaza de Armas y que presenta algunas viviendas sin daño, otras con -daño moderado y la mayoría con daños leves, lo cual si lo asociamos a la antigüedad de sus construcciones (más de 100 años), se esperaríá mayor severidad en los daños; esto nos induce a

# CERCADO DE AREQUIPA

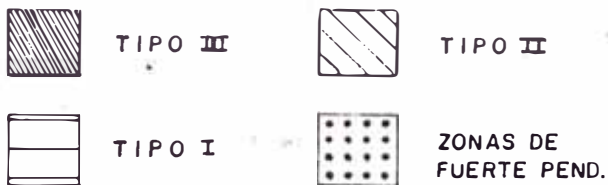


DISTRIBUCION DE DAÑOS EN EL CERCADO

# CERCADO DE AREQUIPA



## TIPO DE SUELOS (R.N.C.)



## EXCAVACIONES

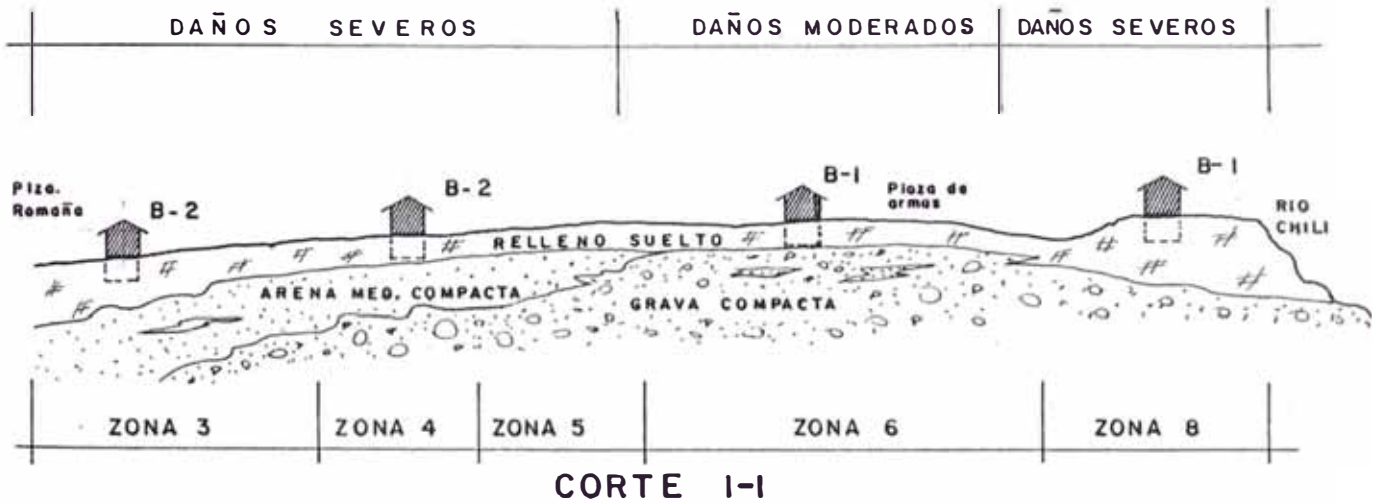
- POZOS ENSAYADOS
- POZOS OBSERVADOS
- ESTUDIOS PARTICULARES

P. ORIHUELA

ZONIFICACION DE SUELOS EN EL CERCADO

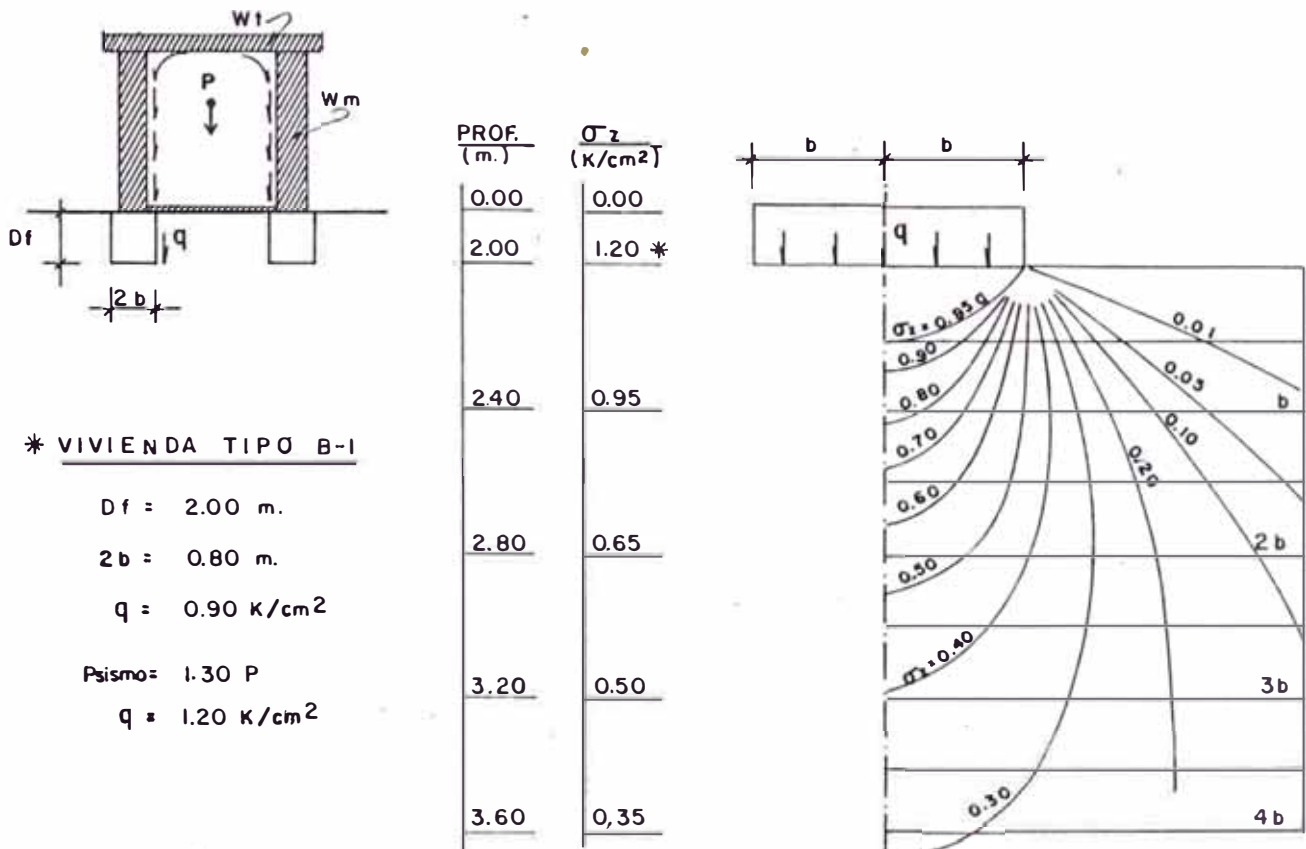
( FIG. 22 )

# CORTE ESQUEMATICO DEL CERCADO



( FIGURA 23-a )

# DISTRIBUCION DE ESFUERZOS VERTICALES



\* VIVIENDA TIPO B-1

$D_f = 2.00$  m.

$2b = 0.80$  m.

$q = 0.90$  K/cm<sup>2</sup>

Psismo= 1.30 P

$q = 1.20$  K/cm<sup>2</sup>

( FIGURA 23-b )

pensar que han habido factores que han influido en su atenuación, los cuales a nuestro criterio han sido la excesiva densidad de muros típicos de las viviendas de bóveda, las cuales cimentadas a una profundidad promedio de 2 mts. ("hasta que tape a un hombre"), se han sostenido directamente sobre un estrato de grava muy compacta (Zona 6) y con buenas capacidades portantes (Ver Tablas 4 y 6).

Un caso muy claro de atenuación de daños, debido directamente al factor suelo, se puede observar en Villa de Sachaca y en la parte alta de Tingo (entre Tingo y Hunter, ver fotos del 17 al 23), en donde los daños son leves o nulos pese a tener otras condiciones negativas como son la gran antigüedad, la fuerte pendiente y en muchos casos la deficiente técnica constructiva como se observa en la Foto 19, estas viviendas están cimentadas directamente sobre afloraciones rocosas sanas de origen igneo intrusivo, donde predominan las graniodioritas y monzonitas.

Igual sucede en Cerro Juli y las partes altas de Mariano Melgar, cimentadas sobre afloraciones de Andesita de origen igneo extrusivo, también en las Urbanizaciones Salaverry, San Martín, Simón Bolívar y el Pueblo Joven Mi Perú, con suelos de tufo o sillar blanco (Ver Lámina 3); todas estas zonas presentan daños muy leves en sus viviendas debido a la excelente condición que ofrecen sus suelos, a pesar de que la mayoría han sido construidas en cerros de fuertes pendientes y con técnicas constructivas generalmente deficientes. La diferencia de estas zonas con las de Villa Sachaca y parte alta de Tingo, es que las primeras son de construcción reciente por lo que no se puede verificar la supervivencia de sus viviendas a través de los años y los sismos, más no así en las segundas ya que sus construcciones son muy antiguas.

## 8.2 CONCLUSIONES

En cada capítulo de esta tesis ya hemos dado las conclusiones correspondientes, en este último de Interpretación -

de daños, hemos podido verificar el efecto que las condiciones locales producen en la respuesta estructural de las viviendas y hemos observado que después de un sismo los daños son producto de diversas causas y que si bien el factor suelo es el más importante, también existen otros factores que hay que tenerlos muy en cuenta (Figura 24).

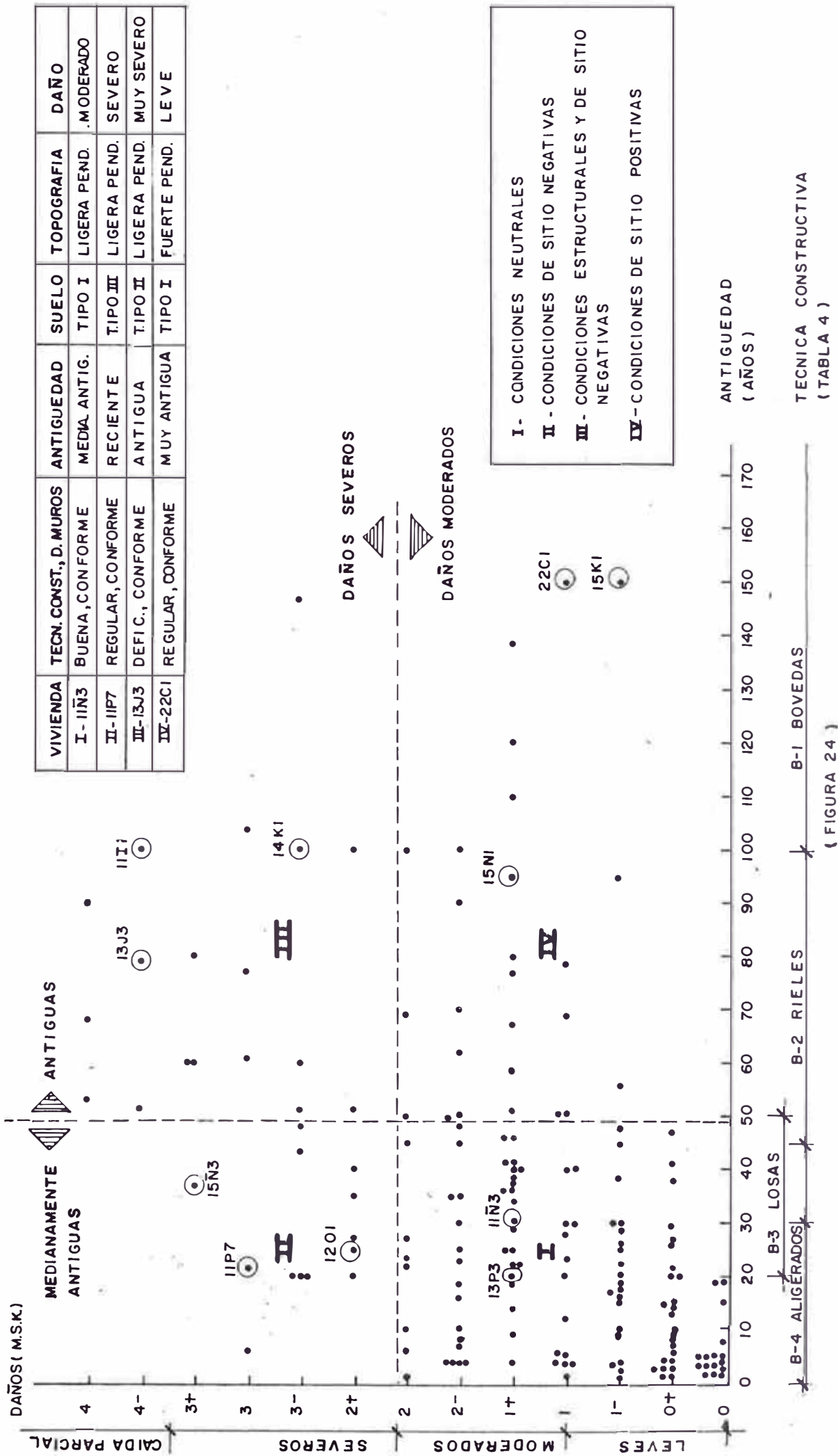
Por esto concluimos que lo fundamental ya sea para programas de prevención sísmica, cuando todavía no ha ocurrido un sismo, o para reconstrucción o reparación después de ocurrido el sismo, o para elección de futuras áreas de expansión urbana; es efectuar prioritariamente los estudios de las condiciones locales o de sitio.

Son frecuentes los casos en que se deciden los tipos de construcción, se efectúan los diseños estructurales y arquitectónicos o sencillamente se repiten los mismos programas de viviendas para uno u otro sitio, o lo que es más se deja que el poblador realice la expansión urbana, cabe recalcar que nos estamos refiriendo a las viviendas de bajo costo, que ha sido motivo de esta tesis, pues es sabido que los edificios generalmente de inversiones particulares pueden hacer sus respectivos estudios.

Recién, después de haber realizado los estudios de sitio, se podrá proponer técnicamente los métodos o técnicas constructivas que se tomarán de acuerdo a los parámetros de cada zona dentro de la cual las condiciones de sitio son similares.

Para esto, debido al encarecimiento de los materiales convencionales de construcción, estamos de parte de la idea de la utilización de los recursos disponibles en cada región del país, en el caso de Arequipa, poseedora de enormes canteras de sillar, creemos que una solución al problema de la vivienda de bajo costo podría ser la utilización de dicho sillar

# INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES LOCALES EN LOS DAÑOS



( FIGURA 24 )

como material de construcción y de cuyas bondades ya hemos habla  
do. Esto sumado al estudio que hemos efectuado nos permite pen-  
sar que en determinadas zonas de la ciudad se podría proponer vi  
viendas de sillar con un mínimo de refuerzo estructural y cuidan  
do solamente de la adecuada densidad de muros, ya que en dichas  
zonas el suelo de cimentación es excelente proporcionando un buen  
comportamiento estático y dinámico de la vivienda, garantizado  
además por construcciones muy antiguas similares, allí cimentadas  
y en muy buenas condiciones después de haber soportado numerosos  
sismos.



## C A P I T U L O    I X

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El objetivo del estudio ha sido el de determinar la gran influencia que las condiciones locales ejercen en los daños estructurales, mediante el desarrollo de métodos simples y que estén de acuerdo a la realidad tecnológica y económica del país.

Todos sabemos de las diferentes técnicas que existen para realizar estudios que nos conduzcan a la Microzonificación Sísmica, pero también somos conscientes de que sus aplicaciones requieren de fuertes inversiones las cuales en nuestro medio son imposibles de hacer, más aún si estos estudios se dirigen a la protección de estructuras "menores" donde los organismos responsables no cuentan con ningún presupuesto para investigaciones, es por esto que en este último capítulo agrupamos en una forma global las conclusiones y recomendaciones sobre la metodología desarrollada que puede ser aplicada en casos similares, los detalles sobre ciertas conclusiones ya se han dado al final de cada capítulo.

- Para estudiar y analizar las condiciones locales dentro de una misma área, hemos tomado como base la diferencia de respuestas estructurales de las edificaciones ante un sismo real.

- Dichas respuestas estructurales están reflejadas en la distribución de daños causados en las edificaciones, por lo que la correspondiente evaluación requiere de un criterio estandarizado y de una detallada inspección casa por casa, para esto presentamos los formularios de adquisición de datos, el estudio y descripción de los diferentes tipos constructivos en viviendas de un solo piso y proponemos una tabla cuantificada de graduación de daños.

- Para verificar la influencia que las condiciones de sitio ejercen en los daños y en especial al comportamiento dinámico del suelo y su interacción con las edificaciones, hay que "filtrar" la influencia de las condiciones estructurales.

- En nuestro caso (Arequipa), tal como muchas otras ciudades del país donde todavía se conservan edificaciones coloniales, existe un factor muy importante dentro de las condiciones estructurales que es la antigüedad de las construcciones, este factor influye de dos formas: 1) Por la superposición de efectos de sismos pasados que "fatigan" a la estructura y pueden mal informar la evaluación, para lo que es muy importante la información de la historia y características sísmicas de la región y 2) Por el cambio de las técnicas constructivas a través de los años las cuales modifican la forma de respuesta estructural. Por esto pensamos que es conveniente agrupar las construcciones por rangos de edades.

- Dentro de la técnica constructiva hay que tener en cuenta el diseño y la construcción de la edificación, hemos demostrado que la densidad de muros ejerce una notable influencia

en los daños, los cuales para condiciones análogas de antiguedades y métodos constructivos son menores cuando mayor es la densidad de muros; así mismo hemos visto que cuando más ligera es la estructura su comportamiento ante un sismo es mejor.

- Se ha detectado también zonas de fuerte pendiente o zonas cercanas a barrancos donde los daños han sido severos, por lo que se debe tratar de construir en zonas planas o se debe evitar las cercanías a taludes inestables.

- Con las consideraciones anteriores se puede determinar por comparación en qué zonas y en qué medida ha influido el factor suelo en la amplificación o atenuación de los daños, de esta manera hemos demostrado que la interpretación no es tan directa como decir "suelo malo - daño alto", sino que en la causa de un determinado daño juegan una serie de factores que hay que identificar.

- Para determinar las zonas y puntos específicos donde se requiere de perforaciones y sondeos de suelos, estudiamos la geología local y los tipos de depósitos sobre los que se distribuyen los daños y "Filtramos" los efectos de las condiciones estructurales y topográficas, con lo cual tendríamos el resultado del comportamiento dinámico del suelo.

- Teniendo una idea de dicho comportamiento dinámico, efectuamos pruebas de mecánica de suelos, dentro de las cuales en el caso de ser suelos friccionantes, las que nos proporcionen información sobre la compacidad son las de mayor importancia.

- Para obtener los datos del estado de compacidad en suelos friccionantes, disponemos de los ensayos de SPT y de los de D.R., dentro de los cuales el segundo es más económico debido

a la simplicidad del equipo, pero teniendo el inconveniente de su no standarización, por este motivo recomendamos algunas formas de obtención de los parámetros de cálculo.

- Para la toma de la densidad natural, hemos usado el método del Cono de Arena, donde además al material proveniente del "hoyo" se le ha calculado el porcentaje que retiene la malla N° 4, para posteriormente hacer la corrección inversa por grava y obtener la densidad natural del material que pasa dicha malla.

- Para el cálculo de la densidad máxima aconsejamos usar el método de vibración propuesto en el caso de que las arenas tengan menos del 16% de material que pasa el tamiz N° 200, y el método "D" del Proctor modificado en el caso de que dicho porcentaje exceda al 18%.

- Para el cálculo de la densidad mínima en arenas hemos visto que es más conveniente el método del "Chorro de Arena" a una altura constante, por lo que se recomienda su aplicación en estado seco.

- Con la información de las propiedades mecánicas y con la idea de su comportamiento dinámico, estamos en condición de proponer microzonas de suelos en donde se dan patrones generales sobre su resistencia y comportamiento.

## BIBLIOGRAFIA

1. KUROIWA J., DEZA E., JAEN H. and J.KOGAN: Microzonation Methods and Techniques used in Perú. Proc. II Intern. Conf. on Microzonation Vol 1, 341-352, San Francisco, Calif. Nov. 1978.
2. SILGADO E.: "Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1,513-1974)". Bol. Nº 3, Instituto de Geología y Minería. Enero 1978, Lima.
3. SERVICIO DE GEOLOGIA Y MINERIA: Geología del Cuadrángulo - de Arequipa. Bol. Nº 24, Instituto de Geología y Minería. Abril 1970, Lima.
4. KAWAKAMI O. AGUSTO: Manual de Diseño Sísmico de Construcciones de Albañilería. Tesis U.N.I., 1978.
5. REGLAMENTO NACIONAL DE CONSTRUCCIONES: Normas de Diseño Sismo-Resistente. Ministerio de Vivienda y Construcción, Oficina de Investigación y Normalización, 1977.
6. ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS: Soil and Rock; Building Stones; Peats. American Society for Testing and Materials, Part. 19, Philadelphia, 1977.
7. KARL TERZAGHI, RALPH B PECK: Mecánica de suelos en la Ingeniería Práctica. El Ateneo, Barcelona 1972.
8. WILLIAM LAMBE Y ROBERT WHITMAN. Mecánica de Suelos. Editorial Limusa - Willey. México, 1972.

9. CARRILLO G. ARNALDO: Comentarios sobre el efecto de los terremotos en los suelos del Perú - Primer Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Agosto 1978, Lima.
10. L. OCOLA, M. HERRERA, P. ORIHUELA, S. BELTRAN: Evaluación y Distribución de Daños en el Sismo de Arequipa del 16.02.79. Symposium sobre el Sismo del 16 de Febrero de 1979 y las construcciones en Arequipa. Junio 1979, Arequipa.
11. MELECIO LAZO ANGULO: Características Sísmicas de la Región Sur Oeste del Perú. Symposium sobre el Sismo del 16 de Febrero 1979 y las construcciones en Arequipa. Junio 1979, Arequipa.
12. J. KUROIWA, S. BELTRAN, P. ORIHUELA, C. RODRIGUEZ, J. SAITO y O. TOVAR: Microzonificación Sísmica Aplicada al Planeamiento Urbano de las Zonas Afectadas por el Sismo de Arequipa del 16 de Febrero de 1979. Forum: Arequipa Año 2,000. - Agosto 1980, Arequipa.
13. J. KUROIWA, S. BELTRAN, P. ORIHUELA, C. RODRIGUEZ, J. SAITO y O. TOVAR: Diseño de las Viviendas Económicas en Zonas Sísmicas. III Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Octubre 1980, Cuzco.
14. BARREDA Q. FLORENTINO: Suelos de Cimentación de Arequipa. - TESIS U.N.S.A., 1970.
15. LARRAURI QUISPE: El Sillar. Tesis UNI, 1970.